

MSc

FCUP
2016

U. PORTO

Otimização energética de maltagem a menor
temperatura de estufagem

Mariana Osório Pereira

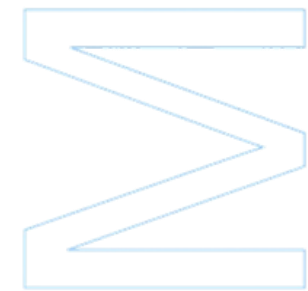
FC

U. PORTO
FACULDADE DE CIÊNCIAS
UNIVERSIDADE DO PORTO

Otimização energética de maltagem a menor temperatura de estufagem

Mariana Osório Pereira
Dissertação de Mestrado apresentada à
Faculdade de Ciências da Universidade do Porto
em Química
2016

U. PORTO
FACULDADE DE CIÊNCIAS
UNIVERSIDADE DO PORTO



Otimização energética de maltagem a menor temperatura de estufagem

Mariana Osório Pereira

Química

Departamento de Química e Bioquímica

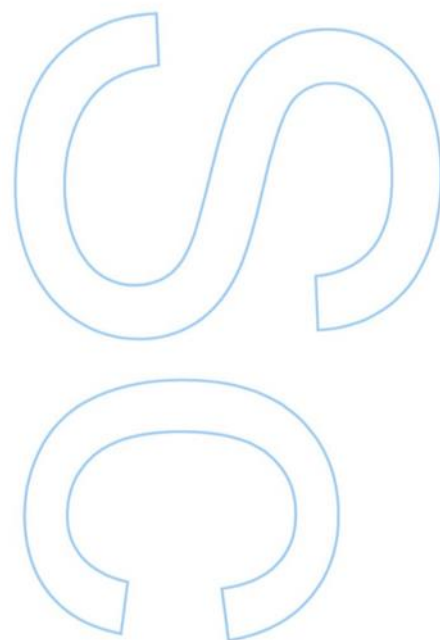
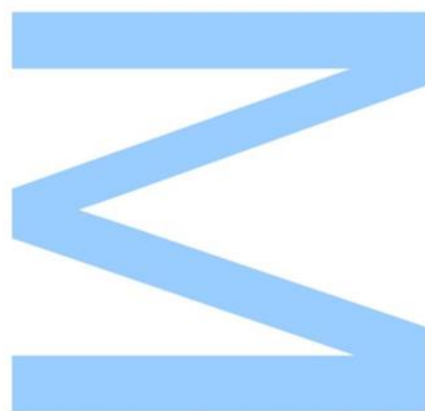
2016

Orientador

Professor Doutor Luís Guido, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Coorientador

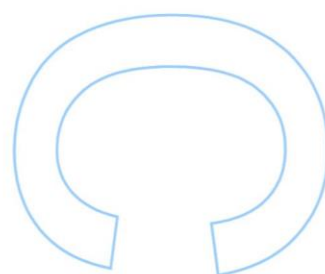
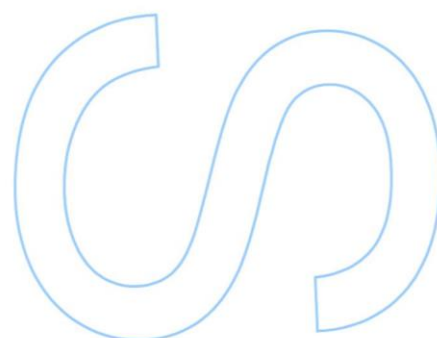
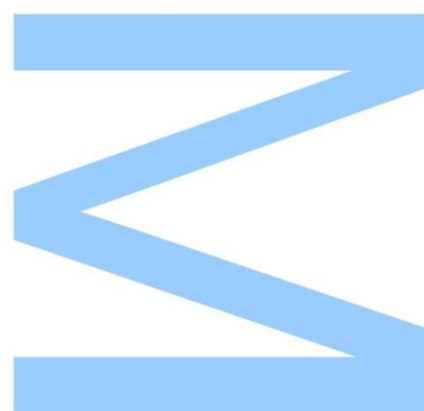
Dr. João Pedro Costa, Unicer Bebidas S.A.





Todas as correções determinadas
pelo júri, e só essas, foram efetuadas.
O Presidente do Júri,

Porto, ____/____/____



Agradecimentos

Ao Professor Luís Guido, por me ter acompanhado ao longo do ano na concretização deste projeto sem me negar qualquer tipo de ajuda, pela disponibilidade e incentivo constante.

Ao João Costa, pelos conhecimentos que me transmitiu, pelos conselhos, pela total disponibilidade e por me fazer tirar proveito de um dia menos bom com um simples momento mais descontraído.

À Eng^a Cristina Silva e ao Eng^o Miguel Cancela, pela experiência, pelo apoio profissional e por me orientarem em tudo o que precisei.

À Catarina Lopes, pela companhia, pelos conselhos, pela ajuda constante, pelas gargalhadas sem fim e pela amiga que se tornou.

À Marina Alves, ao Manuel Dias, ao Diogo Santos, ao Flávio Martins e ao Pedro Moreira pela amizade, companhia e ajuda incansável que me deram.

À Helena Cunha e ao Roque Tavares por me terem ajudado em toda a componente laboratorial, pelo conhecimento científico e pela disponibilidade.

À Rita Silva, pela grande amizade, pelas horas de conversas, transparência, honestidade e ajuda constante.

À Catarina Oliveira, Tiago Oliveira, Miguel Duarte, Nuno Sousa, Maria Lascassas, Inês Junqueira, Ana Capitão, Jorge Teixeira, Daniel Rocha, Sara Barreiro e Francisca Baia-Baia, pela amizade que construímos e pela equipa que nos tornamos.

Ao André Ponte, por estar presente em todos os momentos, pela paciência, motivação e por ser quem é para mim.

Às minhas irmãs de coração, Diana Costa e Sofia Pinto, por ao longo destes anos me apoiarem em todo o meu percurso e por nunca me falharem.

À Inês Sousa, por ter acompanhado toda a minha vida académica e pela grande amizade.

Aos meus queridos pais, por fazerem de mim o que sou hoje, pelos conselhos sábios e por fazerem com que eu nunca desista dos meus objetivos.

Resumo

A maltagem é um processo biotecnológico que permite ao cereal desenvolver e/ou ativar o complexo enzimático que irá degradar o amido em açúcares fermentescíveis usados na produção de cerveja. O processo consiste na indução artificial da germinação de uma cultura, transformando os cereais em malte. A nível industrial, as instalações de maltagem possuem um consumo de energia significativo, aumentando os custos de produção de maltes base e especiais. De forma a rentabilizar o processo, o estágio realizado na Mini-malteria da Unicer Bebidas S.A., teve como objetivo o estudo dos consumos energéticos aplicados à etapa de estufagem da maltagem, otimizando assim o fabrico de malte *Pilsen* (malte base). Para além deste objetivo, também foi testada a capacidade de produção de maltes especiais (*Caramelo*, *Pale Ale* e *Munique II*).

Para a produção de malte *Pilsen*, o parâmetro que sofreu alteração foi a temperatura de saída final, no programa de estufagem. Assim, o valor da temperatura de entrada manteve-se a 85°C em todos os ensaios, diminuindo-se o tempo em que esteve na temperatura de cura (ensaios a 76, 78, 80 e 82 °C. Relativamente aos ensaios de maltes especiais, os fabricos para testar malte caramelo demonstraram ser inconclusivos. Os ensaios de maltes do tipo *Munique II* e *Pale Ale* apresentaram defeitos que poderão ser corrigidos. Paralelamente, foram efetuadas análises laboratoriais (cor, humidade, pH, extrato, modificação e homogeneidade, friabilidade, sacarificação, β -glucanos, FAN, triagem e atividade da α - e β -amilase) a cada lote obtido. Pretendeu-se, com as referidas análises, estudar o impacto nestas variáveis das alterações efetuadas na temperatura de cura de cada fabrico. Os parâmetros em que se previa um maior impacto nos diferentes ensaios seriam na cor e no teor de humidade.

Nos consumos de vapor, confirmaram-se poupanças (por kg de cevada maltada) de 23% do ensaio 76°C para o de 82°C (*standard*) e 25% do ensaio de 78°C para o de 82°C. Nos gastos elétricos, as maiores poupanças (por kg de cevada maltada) relativamente ao ensaio de 82°C, foram de aproximadamente 15% no ensaio de 76°C e cerca de 20% no ensaio de 78°C. Das análises efetuadas ao malte, destacou-se o parâmetro da cor (que sofreu uma diminuição gradual entre o ensaio de 80°C para o de 76°C, de 4,6 EBC para 4,1 EBC), a humidade do malte final (aumento de 4,4 para 4,8%) e a atividade enzimática (atividade da α -amilase a decrescer de 261,33 para 197,57 UC/g, assim como a β -amilase de 17,35 para 13,45 UC/g).

Conclui-se que para além dos parâmetros em que se contava que sofreriam alterações, a atividade enzimática demonstrou também apresentar um grande

impacto. Os diferentes tempos na temperatura de cura foram eficazes na secagem do malte final. Seria, no entanto, necessário manter as condições da etapa de germinação o mais próximas possível para os valores finais dos parâmetros da qualidade do malte serem mais fiáveis.

Palavras-chave: maltagem, malte, cevada, germinação, estufagem, humidade, temperatura.

Abstract

Malting is a biotechnological process that allows the cereal develop and / or activate the enzyme complex that will degrade starch into fermentable sugars used in beer production. The process consists in artificial induction of a germination culture, transforming cereal malt. At industrial level, the malting plants have a significant power consumption, increasing production costs of specialty malts basis. In order to monitorize the process, the stage held in the Mini-malt house Unicer Bebidas S.A., aimed at studying the energy consumption applied to the kilning step of malting, thus optimizing the malting Pilsen (base malt). In addition, it was also tested the special malts production capacity (Caramel, Pale Ale and Munich II).

For Pilsen malt production, the parameter changed was the final output temperature in the curing program. Thus the input temperature value was maintained at 85°C in all tests, decreasing the time remained at the curing temperature (tests 76, 78, 80 and 82 °C). For specialty malts assays, manufactures to test caramel malt proved to be inconclusive. The malts type tests Munich II and Pale Ale had defects that can be corrected. At the same time, laboratory tests were performed (color, moisture, pH, extract, modification and homogeneity, friability, saccharification, β -glucans, FAN, sorting and α -activity and β -amylase) for all batches. By performing the mentioned analyses, the study of the impact on these variables due to the curing temperature changes was intended. The parameters expected to show a greater impact on the different tests would be the color and moisture content.

In the vapor consumptions were confirmed savings (per kg unmalted barley) of 23% from 82°C (standard) to 76°C and 25% from 82°C to 78°C were confirmed. In electrical costs, the major savings (per kg of malted barley) were approximately 15% from 82°C to 76°C and about 20% from 82°C to 78°C. From the analyses made to the final malts should be highlighted the color parameter (which suffered a gradual increase between the test 76°C, 4,1 EBC and the 80°C, 4,6 EBC), the humidity of the final malt (range 4,4 and 4,8%) and enzymatic activity (α -amylase activity decreased from 261,33 to 197,57 UC/g, as well as the β -amylase from 17,35 to 13,45 UC/g).

It can be concluded that, in addition to the parameters expected to be changed, the enzymatic activity demonstrated also to suffer a big impact. Different cure times at temperature were effective in drying the final malt. It would, however, be essential to maintain the conditions of germination step as close as possible in order to get the final values of malt quality parameters are more reliable.

Keywords: malting, malt, barley, germination, kilning, moisture, temperature.

Índice

1	Introdução.....	1
1.1	Contextualização da maltagem.....	1
1.2	Cevada	2
1.2.1	Constituição morfológica	4
1.2.2	Composição química	7
1.2.3	Características da qualidade da cevada para a maltagem.....	12
1.3	Malte.....	13
1.3.1	Processo de Maltagem	14
1.4	Instalação Piloto de Mini-maltagem (IPM).....	28
1.4.1	Avaliação da qualidade do malte	35
1.4.2	Tipos de Malte	40
2	Metodologia	43
2.1	Contextualização e objetivo da proposta de dissertação	43
2.2	Ensaio de mini-maltagem.....	44
2.3	Programas de mini-maltagem.....	44
2.4	Análises ao malte	47
2.4.1	Reagentes	50
3	Análise dos resultados e discussão	51
3.1	Avaliação dos consumos energéticos na produção de maltes base	51
3.1.1	Ensaio realizado.....	51
3.1.2	Consumos energéticos	53
3.1.3	Parâmetros de qualidade do malte	56
3.2	Desenvolvimento de programas de produção de maltes especiais.....	68
3.2.1	Ensaio de maltes especiais.....	68
3.2.2	Ensaio realizado.....	68
4	Conclusões.....	72
5	Perspetivas futuras	75

Bibliografia.....	76
ANEXOS.....	79

Índice de Figuras

Figura 1.1 - Processo de maltagem: conversão de cevada em malte	2
Figura 1.2 - Espigas de cevada de duas fileiras (A) e de seis fileiras (B)	3
Figura 1.3 - Corte longitudinal num grão de cevada (A); identificação dos constituintes principais do grão de cevada (B).....	4
Figura 1.4 - Estrutura química da amilose (a) e da amilopectina (b).....	7
Figura 1.5 - Estrutura química do β -glucano	8
Figura 1.6 - Estrutura química da celulose	8
Figura 1.7 - Esquema do processo de maltagem	13
Figura 1.8 - Esquema geral da etapa de molha, com os respetivos períodos de imersão do grão alternados com períodos de repouso	15
Figura 1.9 - Rompimento “ <i>chitted</i> ” observado das radículas dos grãos de cevada.....	16
Figura 1.10 - Imagem representativa do crescimento da plúmula e da radícula desde a cevada (estado não modificado) até ao último dia de germinação (endosperma modificado)	18
Figura 1.11 - Endosperma não modificado, onde irão atuar enzimas hidrolíticas que vão intervir sobre as paredes celulares, os grânulos de amido e a matriz proteica.	19
Figura 1.12 - Sequência de passos dos mecanismos fisiológicos da germinação do grão de cevada	20
Figura 1.13 - Exemplo de diagrama de estufagem mais comum para se produzir malte <i>Pilsen</i>	23
Figura 1.14 - Mudanças típicas de humidade e temperaturas do ar de entrada e de saída da camada de malte.....	23
Figura 1.15 - Planta da IPM.	27
Figura 1.16 - Silo de armazenamento de cevada (1) e sistema de aspiração de poeiras com os dois respetivos filtros de poeiras (2).	28
Figura 1.17 - Transportador parafuso (3), chapa do fundo do silo de armazenamento (4) e tanque da molha (5).	29
Figura 1.18 - Transportador sem-fim (6).....	30
Figura 1.19 - Tanque de germinação/ estufagem (7) e interior do tanque com um dispositivo gerador, dois agitadores, e aspersores (8).	31
Figura 1.20 - Transportador sem-fim (9) e desradiculador (10).	33
Figura 1.21 - Silo de armazenamento (11).....	34
Figura 1.22 - Filtração do mosto de diferentes tipos de malte, através de funis com filtros de pregas.	37
Figura 1.23 - Sistema de fixação de grãos.....	37

Figura 1.24- Friabilímetro.....	38
Figura 2.1- Big bag, nas instalações da Mini-malteria, com 1100 kg de cevada.....	43
Figura 3.1- Gráfico que apresenta a relação da temperatura de saída dos quatro ensaios com o consumo de vapor e o consumo de vapor/ massa da cevada.	54
Figura 3.2- Gráfico que apresenta a relação da temperatura de saída dos quatro ensaios com o consumo de energia elétrica e o consumo de energia elétrica/ massa da cevada.	55
Figura 3.3- Gráfico que apresenta a relação da temperatura de saída dos quatro ensaios com a humidade do malte final e o respetivo tempo na fase de “cura”.....	56
Figura 3.4- Gráfico que relaciona a temperatura de saída dos quatro ensaios com a cor espectrofotométrica final do malte.	57
Figura 3.5- Gráfico que apresenta a relação da temperatura de saída dos quatro ensaios com a friabilidade do malte final e a percentagem de germinação do grão....	59
Figura 3.6- Gráfico que apresenta a relação da temperatura de saída dos quatro ensaios com a modificação do malte final e a percentagem de germinação do grão..	60
Figura 3.7- Gráfico que apresenta a relação da temperatura de saída dos quatro ensaios com o teor de β -glucanos e tempo da fase de germinação.....	61
Figura 3.8- Gráfico que apresenta a relação da temperatura de saída dos quatro ensaios com o nível de FAN no mosto e percentagem de germinação.....	62
Figura 3.9- Gráfico que apresenta a relação da temperatura de saída dos quatro ensaios com a atividade da α -amilase e o tempo da fase de “cura”.....	63
Figura 3.10- Gráfico que apresenta a relação da temperatura de saída dos quatro ensaios com a atividade da β -amilase e o tempo da fase de “cura”.....	64
Figura 3.11- - Gráfico que apresenta a relação da temperatura de saída dos quatro ensaios com o teor de extrato e o teor de humidade do malte verde.	65
Figura 3.12- Coloração obtida para os três ensaios de maltes especiais.	68

Índice de Tabelas

Tabela 1.1- Atividade das principais enzimas típicas do malte e respetivas temperaturas de inativação.....	24
Tabela 1.2- Especificações físico-químicas das principais análises efetuadas ao malte <i>Pilsen</i>	34
Tabela 2.1 - Resultados das análises efetuadas na Maltibérica à cevada da variedade <i>Pewter</i>	43
Tabela 2.2- Parâmetros utilizados no programa de molha.....	44
Tabela 2.3- Parâmetros utilizados no programa de germinação.....	45
Tabela 2.4- Parâmetros utilizados no programa de estufagem.....	45
Tabela 3.1- Valores da temperatura de saída, massa da cevada inicial e percentagem de <i>Chitting</i> para os quatro fabricos	50
Tabela 3.2- Valores da temperatura de saída, tempo da fase de germinação, germinação do grão e humidade do malte verde para os quatro fabricos	51
Tabela 3.3- Valores da durabilidade da etapa de estufagem para os quatro fabricos (duração das fases <i>pré-break</i> e de “cura”).....	51
Tabela 3.4- Valores da massa de cevada inicial, humidade do malte verde, tempo da fase <i>pré-break</i> , tempo da “cura” e duração da etapa de estufagem, para os quatro ensaios	52
Tabela 3.5- Valores relativos ao consumo de vapor nos quatro ensaios e a sua relação com os dados da massa de cevada inicial, humidade do malte verde e duração da etapa de estufagem.	53
Tabela 3.6- Valores relativos aos consumos elétricos nos quatro ensaios e a sua relação com os dados da massa de cevada inicial e humidade do malte verde.....	54
Tabela 3.7- Valores de humidade do malte final nos quatro ensaios e a sua relação com o teor de humidade do malte verde, tempo da fase de “cura” e tempo na fase de estufagem.....	55
Tabela 3.8- Valores da modificação do grão e cor nos quatro ensaios e a sua relação com os dados da germinação do grão, tempo da fase de estufagem e tempo da “cura”	56
Tabela 3.9- Valores do pH nos quatro ensaios e a sua relação com a temperatura de saída.....	58
Tabela 3.10- Análise relativa à friabilidade e a sua relação com a germinação, teor de humidade do malte verde, tempo na fase de germinação e tempo da fase <i>pré-break</i> . 58	
Tabela 3.11- Análise relativa à modificação e a sua relação com a germinação, teor de humidade do malte verde, tempo na fase de germinação e tempo da fase <i>pré-break</i> . 59	

Tabela 3.12- Análise relativa aos β -glucanos e a sua relação com a germinação, teor de humidade do malte verde, tempo na fase de germinação e tempo da fase <i>pré-break</i>	60
Tabela 3.13- Análises relativas ao teor de FAN e a sua relação com a germinação, tempo na fase de germinação e teor de humidade do malte verde	61
Tabela 3.14- Análises relativas às enzimas α - e β -amilase e a sua relação com o tempo na fase de estufagem e o tempo na fase de “cura”	62
Tabela 3.15- Análises relativas ao extrato e a sua relação com a percentagem de germinação, o tempo da fase de germinação e o teor de humidade do malte verde...	64
Tabela 3.16- Resultados das análises efetuadas na Maltibérica à cevada da variedade Etincel.....	66
Tabela 3.17- Valores referentes às temperaturas de entrada no início da estufagem e de “cura”, tempos de “cura” de entrada e de saída, temperaturas de saída da “cura”, percentagem de germinação e cor obtida para os três ensaios	66
Tabela 3.18- Valores da friabilidade, β -glucanos, rendimento s.m.s, cores do mosto e FAN, efetuadas aos três ensaios de maltes especiais	69

Lista de Abreviaturas

DMS	Sulfureto de dimetilo
EBC	<i>European Brewery Convention</i>
FAN	Azoto Aminado Livre
IPM	Instalação Piloto de Mini-maltagem
LIE	Limite Inferior Específico
LSE	Limite Superior Específico
NDMA	N-Nitrosodimetilamina
p-DMS	Percursor Sulfureto de dimetilo
POS	Procedimento Operacional <i>Standard</i>
s.m.s.	Sob matéria seca
UA	Unidades Arbitrárias
UC	Unidades <i>Ceralpha</i>

1 Introdução

1.1 Contextualização da maltagem

A cevada é o principal cereal usado no fabrico de cerveja, sendo considerada o quarto cereal mais importante à escala mundial. Na produção de cerveja, são quatro as matérias-primas necessárias: água, malte, lúpulo e levedura. A qualidade das mesmas é decisiva na qualidade do produto final [1] [2].

Na produção de cerveja, a cevada, sendo a mais usada devido à sua fonte de amido, tem de sofrer previamente um processo de conversão em malte para dissolver o amido contido nos grãos. O motivo da cevada corresponder ao cereal habitualmente mais utilizado para ser convertido em malte, está relacionado principalmente com o seu nível adequado de proteína, baixo teor de lípidos e desenvolvimento de elevados níveis de enzimas amilolíticas durante a germinação [3]. O malte, grão de cereal germinado por um período limitado de tempo e seco, possui uma fonte de hidratos de carbono, proteínas degradadas, enzimas e vitaminas [4].

A maltagem tem como principal objetivo a produção de enzimas através de uma germinação controlada de grãos de cereais. Essa germinação, induzida artificialmente, causa alterações em certos constituintes químicos da cevada, seguida de um término desse processo através da aplicação de calor (estufagem) para produzir o sabor e a cor necessárias, que são fundamentais para a apreciação final dos consumidores [5].

Para se garantir que o conteúdo dos grãos é dissolvido de forma homogênea, enzimas específicas têm de ser ativadas e produzidas [6]. No processo de maltagem (Figura 1.1), as principais etapas para a transformação da cevada em malte são a molha, a germinação e a estufagem. O objetivo da molha é aumentar o teor de água na cevada para que se dê o início da germinação; a etapa de germinação corresponde ao crescimento do embrião em condições controladas de humidade e temperatura, desenvolvendo-se enzimas que hidrolisam os constituintes do endosperma; por último, a fase da estufagem, diz respeito à interrupção da atividade enzimática através da redução da humidade, fixando a composição química e formando cor, aroma e gosto ao malte [4] [7]. Na estufagem, o malte é submetido a diferentes temperaturas, consoante a cor que se pretende dar à cerveja. Assim, para cerca de 80-85°C obtêm-se os designados “maltes base” (maltes claros), ou para valores superiores a 100°C produzem-se os “maltes especiais” (maltes escuros) [8].

As enzimas digerem o conteúdo dos grãos durante o processo e preparam o amido para as etapas seguintes à maltagem. Posteriormente, enzimas adicionais convertem o amido do malte moído em açúcares fermentáveis durante a etapa de

brassagem, resultando este procedimento em mosto (extrato aquoso) que é fervido. O lúpulo é adicionado nesta fase de ebulição. A levedura irá converter os açúcares em álcool durante a fermentação do mosto arrefecido. Após a maturação e a filtração, a cerveja é estabilizada e armazenada, para inibir defeitos na sua qualidade. Conclui-se, assim, que as enzimas produzidas durante a maltagem são essenciais para a degradação de moléculas de elevado peso molecular, posteriormente, durante a brassagem [5] [6].

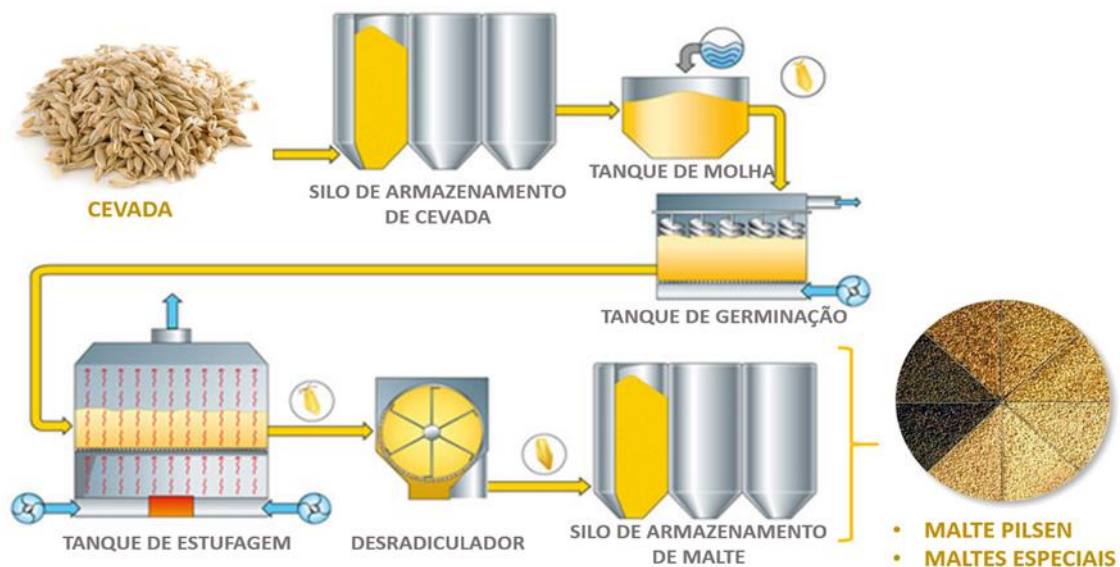


Figura 1.1 - Processo de maltagem: conversão de cevada em malte (adaptado de [9]).

1.2 Cevada

A cevada, cereal da família das Gramíneas, representa cerca de 7 a 8% da produção mundial de cereais, possuindo maior área de cultivo na Europa e na América do Norte. Trata-se de um cereal largamente adaptado a diferentes climas [10]. No entanto, por se tratar de uma planta tolerante à alcalinidade e salinidade, faz com que o seu cultivo possa ser próximo de zonas mais desérticas [2]. Atualmente, cerca de dois terços da cevada cultivada é usada para alimentação animal, um terço destina-se à maltagem e cerca de dois por cento possui uso direto na alimentação humana [11].



Figura 1.2 - Espigas de cevada de duas fileiras (A) e de seis fileiras (B) (adaptado de [12]).

No hemisfério Norte, a cevada de inverno é plantada em meados de Setembro e colhida em Julho, enquanto a de primavera ocorre num período entre Março e Agosto. A cevada de seis fileiras (Figura 1.2, (B)) possui, em cada nó, seis flores que serão fecundadas e darão origem a seis fileiras na espiga, com grãos de tamanho irregular, pois os grãos não possuem espaço suficiente para um crescimento uniforme. Possui, ainda, um teor proteico maior comparativamente com a cevada dústica. Na cevada dústica (Figura 1.2 (A)) ou espiga de cevada de duas fileiras, apenas as flores centrais das duas fileiras são fecundadas, desencadeando um crescimento simétrico dos grãos. Esta última apresenta casca fina e quantidades de amido relativamente maiores do que a de seis fileiras, tendo assim um conteúdo útil elevado e menores quantidades de substâncias fenólicas e amargas. Assim, a cevada dústica é preferencialmente cultivada como cevada de primavera, combinando todas as características desejáveis para a produção de malte e cerveja [1]. Na Europa, este tipo de cevada é bastante usado na indústria cervejeira, por produzir malte com maior conteúdo de amido e menor quantidade de proteína. Estes dois parâmetros permitem obter mais extrato a partir do malte e evitam alguns problemas de turvação na produção da cerveja [8]. Apesar de todos os grãos de cereais (por exemplo, trigo, sorgo, centeio, aveia, arroz, milho) poderem ser transformados em malte através de processos de molha e germinação, a cevada dústica é a principal matéria-prima usada na produção de cerveja.

O cereal apresenta uma cor característica entre o caramelo e o “cru”. Contudo, podem ocorrer descolorações no grão provocadas por infeções fúngicas ou por metabolismos anormais durante o processo de maltagem. Espécies com maior coloração têm sido alvo de grande interesse por parte da indústria alimentar devido às

suas propriedades antioxidantes. No entanto, a maioria da cevada produzida possui uma cor de grão amarelo claro, preferencial para a produção de malte e alimentos em geral [11].

Para a obtenção de malte com aspeto uniforme e de qualidade elevada, é necessário que os grãos sejam da mesma espécie e que o seu cultivo seja com a variedade o mais pura possível [1] [11].

1.2.1 Constituição morfológica

O grão de cevada (Figura 1.3) é constituído por envelope, pericarpo, testa, camada de aleurona, endosperma amiláceo e embrião. Dos seus constituintes, os três tecidos principais são o embrião, o endosperma e a camada de aleurona. Em termos de peso total do grão seco, o envelope pode variar entre 10 e 12%, o pericarpo e testa 2 a 3%, a camada de aleurona de 4 a 5%, o endosperma amiláceo de 77 a 82% e o embrião 2 a 3% [10].

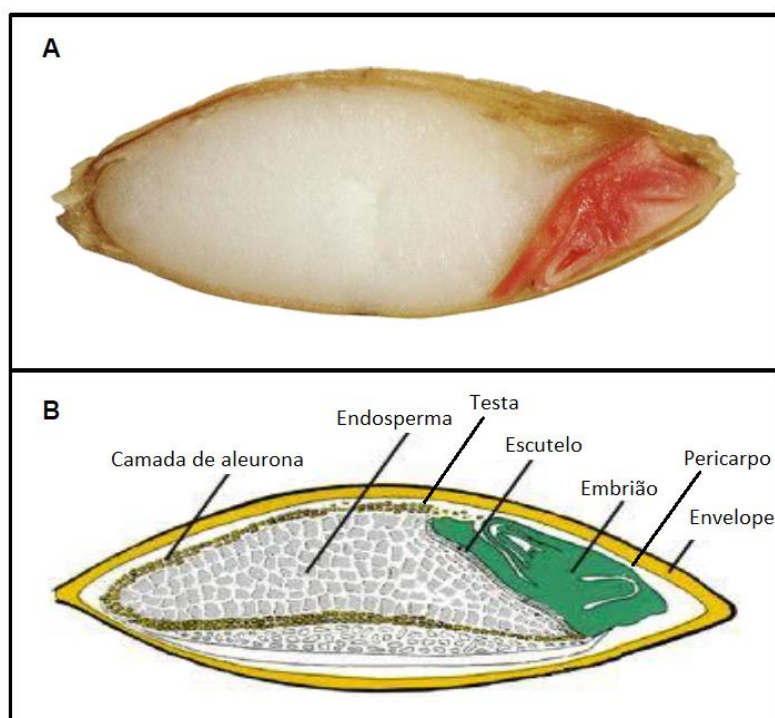


Figura 1.3 - Corte longitudinal num grão de cevada (A); identificação dos constituintes principais do grão de cevada (B) (adaptado de [11]).

O **envelope** corresponde à camada mais externa que protege o grão de danos físicos. Apresenta uma estrutura rígida e insolúvel, sendo a zona do grão onde se concentram microrganismos, tais como fungos e bactérias. É composto por duas estruturas, a metade dorsal (lema) e a metade ventral (paleia) e tem como função a proteção das suas estruturas subjacentes, especialmente o embrião. É formado por

celulose, sílica, lenhina, pentosanas, açúcares, β -glucanos e compostos fenólicos (ácidos benzóicos, antocianinas, terpenos e flavonóides), sendo estes últimos compostos os que contribuem para a sua rigidez. Possui três camadas principais subsequentes, nomeadamente o pericarpo, a testa e a camada de aleurona [10] [11] [13]. Os pigmentos de cor (antocianinas) no envelope podem funcionar como auxílio à identificação da variedade de cevada [10]. Envelopes danificados são considerados inaceitáveis, porque podem provocar danos no interior do grão (mais especificamente, no embrião), tornando o seu crescimento incontrolável e provocando dificuldades operacionais na germinação e filtração do mosto [13] [14].

O **pericarpo** é uma estrutura semipermeável constituído fundamentalmente por celulose e que não contém amido. Desempenha uma função protetora, visto que algumas substâncias químicas passam pelo mesmo, enquanto as substâncias impermeáveis, como o ácido giberélico, não o atravessam. A danificação de forma controlada do pericarpo (processo designado por abrasão) acelera a germinação, na medida em que possibilita a chegada mais rápida de ácido giberélico à camada de aleurona, favorecendo assim a modificação do endosperma amiláceo ao aumentar a eficiência da aleurona na produção de enzimas que degradam o endosperma [7] [10] [14].

A **testa**, que se encontra entre o pericarpo e a aleurona, apresenta na sua constituição aminoácidos, açúcares e lípidos. O pericarpo, juntamente com a testa, forma uma camada semipermeável que pode facilitar a absorção de água e sais no embrião durante a germinação. Trata-se de uma camada que é permeável ao ácido giberélico. Compostos fenólicos, como os antocianogénios (proantocianidinas), associados à camada de aleurona e à testa, estão relacionadas com o aparecimento de turvação na cerveja, suscitando a instabilidade coloidal [7] [10].

A **camada da aleurona** fica localizada acima do endosperma, e as suas células são constituídas por lípidos, proteínas, fosfatos (ácido fítico), pentosanas, enzimas, vitaminas do complexo B, minerais e açúcares [11]. As suas paredes celulares são espessas, sendo formadas principalmente por pentosanas e β -glucanos. Durante a germinação, as paredes celulares da aleurona são parcialmente degradadas em determinadas áreas, possibilitando a libertação das enzimas hidrolíticas para o endosperma, onde hidrolisam os constituintes do mesmo [7] [10].

Quanto mais espessa a parede celular, mais tempo demora o processo de maltagem. Torna-se fundamental que a parede celular seja destruída durante a maltagem, o que é conseguido através da ação de enzimas capazes de solubilizar e degradar os β -glucanos das paredes celulares do endosperma [8].

O **endosperma** é o maior tecido do grão e é composto essencialmente por amido e proteínas, embora também apresente vitaminas e minerais em menor quantidade. Na sua estrutura, possui milhares de células e está rodeado pela camada de aleurona. Essas células são ricas em grânulos de amido (envolvidos por células compostas maioritariamente por β -glucanos), os quais estão envolvidos por uma matriz proteica [8].

Durante o processo de maltagem, alguns dos componentes do endosperma são submetidos à ação de diversas enzimas sintetizadas na camada de aleurona e no embrião, nomeadamente amilases, β -glucanases e proteases. No decorrer da maltagem, é preferível o uso de grãos com um endosperma mais macio, pois nos endospermas mais rígidos (vítreos) a absorção de água e a migração de enzimas são mais lentas, pelo que faz sentido os grãos macios serem os preferidos. No endosperma, os níveis de azoto aminado livre são mais elevados no malte em relação à cevada, como consequência da hidrólise da matriz proteica que ocorre durante a modificação [7].

Dentro da testa localiza-se o **embrião**, na base ou parte dorsal do grão. A parte dorsal separa-se do endosperma através de uma fina camada designada escutelo e por células epiteliais (têm a função de fornecer nutrientes provenientes do endosperma para o embrião), as quais possuem uma parede celular muito fina [1]. Este é composto por celulose, lípidos, rafinose e sacarose. O embrião é dividido em sistema radicular, nodo escutelar, plúmula e escutelo [7] [8].

Danos mecânicos durante a colheita, perdas provocados pelo calor durante a secagem e infeções microbianas e/ ou de insetos durante o armazenamento da cevada podem destruir ou prejudicar o potencial do embrião para produzir a sua hormona natural, o ácido giberélico. No processo de maltagem, o ácido giberélico produzido no embrião (escutelo) irá induzir as células da camada de aleurona a produzir enzimas, tais como α -amilases, endo- β -glucanases, pentosanases e endoproteases, que irão degradar alguns componentes do endosperma [8] [15].

Como a produção de ácido giberélico é, tal como referido, ligada ao processo de germinação, esta etapa torna-se crucial para a qualidade da maltagem. No entanto, se a germinação for eficiente mas a produção de giberelina (hormona vegetal) e o transporte para a camada de aleurona for limitado, o desempenho do processo não será o pretendido. Nestas circunstâncias, pequenas quantidades do ácido giberélico (0,2-0,25 ppm) poderão ser adicionadas ao grão germinado para otimizar os níveis de ácido no grão [10].

1.2.2 Composição química

Quimicamente, o grão de cevada, relativamente ao seu peso seco, é composto por carboidratos (70-85%), proteína (10,5-11,5%), matéria inorgânica (2-4%), lípidos (1,5-2%) e outras substâncias (1-2%) [1].

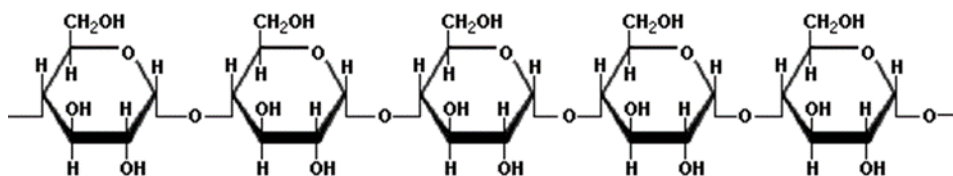
1.2.2.1 Carboidratos

Os carboidratos são, quantitativamente, a classe mais importante de compostos. Diferem consideravelmente uns dos outros no que diz respeito às suas propriedades e, conseqüentemente, na qualidade do produto final. Os hidratos de carbono com maior importância são o amido, a celulose, a hemicelulose, os açúcares, e as gomas [1].

O **amido** corresponde ao composto mais abundante na cevada, representando cerca de 63% da constituição do grão. É produzido durante a fotossíntese e encontra-se armazenado nas células do endosperma sob a forma de grânulos de amido (amiloplastos). Os grânulos de amido são compostos por cadeias de amilose e amilopectina (polissacáridos), que são polímeros de D-glucose, presentes em proporções distintas. Os grânulos referentes encontram-se envolvidos por uma matriz proteica, que é uma importante fonte de azoto para o embrião durante a etapa de germinação. Essa matriz é composta fundamentalmente por proteínas de reserva, nomeadamente hordeínas e glutelinas [6] [8] [13].

A amilose (Figura 1.4, (a)) é uma macromolécula em que os resíduos de D-glucose estão ligados principalmente por ligações glicosídicas α -(1,4), o que lhe possibilita uma forma essencialmente linear, enquanto na macromolécula amilopectina manifestam-se, para além das ligações α -(1,4), as ligações α -(1,6), que contribuem para uma estrutura mais ramificada da molécula (Figura 1.4, (b)) [6].

(a)



(b)

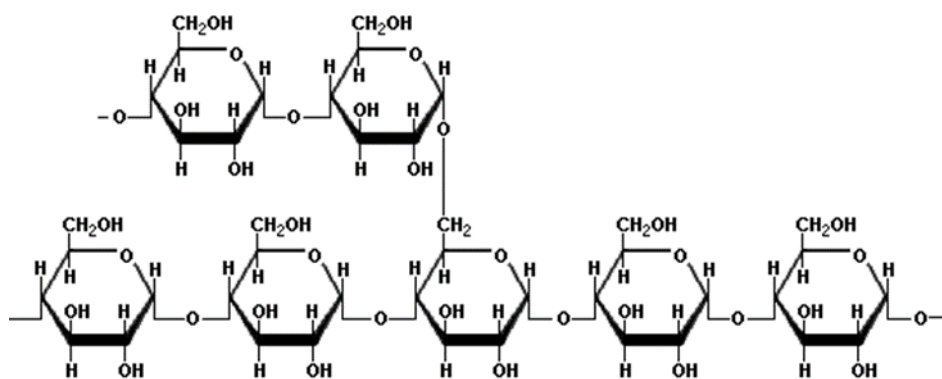


Figura 1.4 - Estrutura química da amilose (a) e da amilopectina (b) [16].

Os grânulos de amido, assim como a matriz proteica que os envolve, situam-se no interior das células do endosperma, cujas paredes são constituídas por diversos polissacáridos não amiláceos, tais como β -glucanos (cerca de 70%) e arabinoxilanas (cerca de 15%). Os β -glucanos (Figura 1.5), do ponto de vista estrutural, são um polímero linear formado por resíduos de D-glucose ligados entre si por ligações glicosídicas β -(1,3) e β -(1,4); as arabinoxilanas correspondem a cadeias formadas por resíduos de D-xilose ligados por ligações glicosídicas β -(1,3), onde se ligam resíduos de L-arabinose [8].

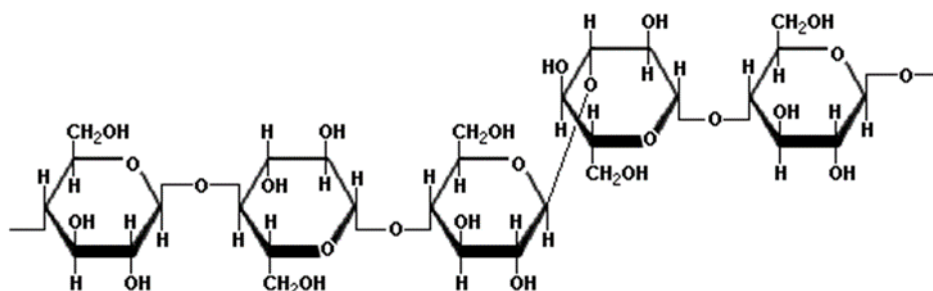


Figura 1.5 - Estrutura química do β -glucano [16].

A **celulose** (Figura 1.6) é um polímero de β -D-glucose que, em contraste com o amido, é orientada com grupos de $-\text{CH}_2\text{OH}$ alternados acima e abaixo do plano da molécula, produzindo assim cadeias longas não ramificadas. Está localizada principalmente no envelope do grão, embora também seja encontrada no embrião, pericarpo e testa [6]. A sua estrutura é formada pela união de moléculas de β -glucose através de ligações glicosídicas β -1,4. É insolúvel, não podendo ser quebrada pelas enzimas do malte. Por este motivo, a celulose não tem efeito sobre o processo de maltagem e, consequentemente, na qualidade da cerveja [1] [6].

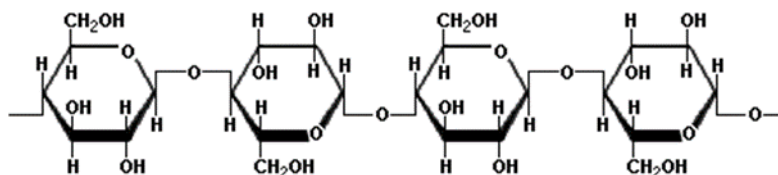


Figura 1.6 - Estrutura química da celulose [16].

A **hemicelulose**, principal constituinte da parede celular do endosperma, é constituída pela fração de β -glucanos e pentosanas que são insolúveis em água. Os β -glucanos e as pentosanas, em conjunto, fazem com que se forme a estrutura rígida da parede celular.

Uma ação enzimática insuficiente durante a maltagem pode causar hidrólise incompleta de β -glucanos, originando moléculas de elevado peso molecular com padrões de ligação semelhantes, que possuem uma grande tendência para se associarem e precipitar, formando géis que aumentam a viscosidade da cerveja e estão na origem de problemas que possam ocorrer durante a filtração do mosto. Por outro lado, um peso molecular elevado de β -glucanos na cevada poderá desencadear uma degradação insuficiente das paredes celulares, impedindo assim a difusão de enzimas, a germinação e a mobilização das reservas dos grãos, reduzindo o extrato de malte. Torna-se então essencial uma redução no teor de β -glucanos para um processo de maltagem mais eficiente [7] [5].

As pentosanas são formadas por pentoses de xilose e arabinose. Correspondem a longas cadeias de resíduos de 1,4-D-xilose aos quais os resíduos de arabinose são ligados em alguns locais. São parcialmente quebradas durante os processos de maltagem e fabrico de cerveja. No entanto, o seu efeito na produção e qualidade da cerveja, contrariamente ao dos β -glucanos, é irrelevante [1].

Existem também **açúcares** simples na composição do grão, sendo o seu teor bastante pequeno. Esses açúcares estão presentes principalmente sob a forma de sacarose, e alguma glicose e frutose, que se encontram essencialmente na camada de aleurona e no embrião [1].

Nos carboidratos estão inseridas também as **gomas**, que se dissolvem em água quente. Deste grupo, fazem parte os β -glucanos e os pentosanos, que são solúveis nestas condições [13].

1.2.2.2 Proteínas

No malte, as **proteínas** presentes têm uma importância extrema, pela fonte de compostos azotados que constituem, essencial ao bom desempenho fermentativo das leveduras e também pela contribuição enzimática fundamental na fase de produção do

mosto [17]. As proteínas correspondem a longas cadeias de aminoácidos ligados por ligações peptídicas que, ao serem degradadas pelas enzimas proteolíticas (proteases), produzem aminoácidos livres e péptidos que servem de alimento à levedura durante a fermentação do mosto [13]. São encontradas no embrião e, principalmente, no endosperma [6].

As proteínas e seus derivados causam, assim, efeito sobre as características organoléticas na cerveja, incluindo a quantidade e estabilidade da espuma, a riqueza do sabor, formação de compostos aromáticos ativos (produtos de Maillard), estabilidade da turvação e o progresso da fermentação de leveduras [5].

A cerveja tem uma concentração peptídica de aproximadamente 500 mg/L. Enquanto alguns dos polipéptidos e proteínas são responsáveis pela contribuição nutricional e sabor da mesma, outros são encarregues da formação de turvação coloidal e do processo de estabilização da espuma [18]. As características referidas estão relacionadas com o facto de as proteínas terem a capacidade de interagir com compostos fenólicos. Assim, ao teor de proteínas está associado o teor de compostos azotados, estando o interesse destes compostos associado à quantidade de extrato produzido. Deste modo, quanto maior o teor de compostos azotados, menor o teor de amido e, consequentemente, menor a quantidade de extrato e açúcares formados, o que contribui negativamente para o processo [13].

Uma das prioridades na cerveja é a hidrólise das proteínas, de modo a garantir a fermentação, tornando-se crítico o conteúdo de azoto aminado livre (FAN). No entanto, a degradação proteolítica durante a maltagem e a brassagem não liberta apenas aminoácidos e dipéptidos como nutrientes da levedura, mas também permite o acesso ao amido [19].

1.2.2.3 Matéria inorgânica

A **fração mineral** (matéria inorgânica) na semente da cevada, embora reduzida, é composta por fósforo, potássio, cálcio, magnésio, ferro, cobre, zinco, selénio, manganês, cobalto e sódio, sendo os dois primeiros elementos mais abundantes em termos de disponibilidade e qualidade nutricional. A maior concentração de minerais encontra-se no embrião e na camada de aleurona, garantindo assim o processo fisiológico durante o processo de germinação [11].

1.2.2.4 Lípidos

Os **lípidos**, contidos principalmente no malte de cevada, estão presentes no embrião e na camada de aleurona do grão, em pequenas quantidades. A

concentração dos mesmos é muito baixa (inferior a 0,1%) e o metabolismo da levedura pode afetar a presença destes compostos e modificá-los [20]. A fração lipídica do malte na cevada não é, na sua maior parte, solubilizada durante o fabrico do mosto, no entanto, a porção solubilizada representa uma potencial fonte de compostos organoleticamente ativos. Nesta última fração, é importante a velocidade da fermentação e o equilíbrio entre os compostos aromáticos das famílias dos álcoois, ésteres e ácidos gordos de cadeia longa (ácidos palmítico, esteárico, oleico e linoleico) [17].

Com o aumento do tempo de armazenamento da cerveja, o efeito dos lípidos torna-se negativo, com a presença de compostos derivados (por exemplo, o aldeído trans-2-nonenal) responsáveis por sabores desagradáveis. No entanto, a maior parte desses compostos são eliminados durante o processo de fabrico da cerveja, contendo o produto final uma quantidade pouco significativa de lípidos [20].

1.2.2.5 Vitaminas, compostos fenólicos e enzimas

A cevada e o malte são ricos em várias fontes de **vitaminas** que, estando presentes no embrião e na camada de aleurona, são dissolvidas no mosto durante o processo de fabrico da cerveja. Assim, o seu conteúdo no mosto tem de ser o suficiente para garantir um desempenho regular da levedura durante a fermentação [20]. As principais vitaminas contidas na cevada são as vitaminas B1 (tiamina), B2 (riboflavina), C (ácido ascórbico) e E (tocoferol) [1].

Os ácidos fenólicos (hidroxibenzóicos e hidroxicinâmicos) fazem parte dos compostos fenólicos que predominam na atividade antioxidante dos cereais, sendo o ácido ferúlico o composto mais abundante [11]. Os polifenóis e os ácidos fenólicos presentes no malte funcionam como inibidores de danos oxidativos, por serem antioxidantes naturais capazes de retardar ou impedir processos de oxidação, contribuindo para um efeito significativo no malte [21]. Os **polifenóis** possuem numerosos impactos no fabrico da cerveja, influenciando a sua cor, espuma, sabor e turvação [6].

Nas diferentes variedades de cevada, o endosperma amiláceo apresenta baixos níveis de polifenóis, estando a sua maior concentração em diferentes quantidades nas camadas externas do grão (envelope, pericarpo e testa) [21].

Algumas das **enzimas** necessárias para a produção de cerveja estão já contidas na cevada, no entanto a maior parte do seu teor é produzido durante o processo de maltagem [1]. Nestas enzimas estão incluídas as α -amilases, as proteases, as celulasas e as β -glucanases [5] [13]. A maior parte das mesmas atua ou é sintetizada na fase da germinação do grão, como a α -amilase. No processo de

maltagem, a presença destas enzimas é imprescindível, por serem moléculas que têm a função de catalisar reações químicas que sem a sua presença dificilmente ocorreriam [13]. Assim, as enzimas produzidas durante a maltagem tornam-se essenciais para posterior degradação de moléculas maiores durante a etapa de brassagem [5].

1.2.3 Características da qualidade da cevada para a maltagem

Qualquer tipo de cevada, desde que seja viável, pode ser convertida em malte. A diferença entre as cevadas reside na facilidade com que o seu endosperma pode ser modificado durante a etapa da germinação. Assim, a qualidade do malte e a eficiência da operação da maltagem dependem bastante da natureza da cevada usada [22].

As principais aptidões da cevada usada no processo de maltagem estão relacionadas com a sua disponibilidade, a sua resistência a tratamentos mecânicos durante o processo (devido ao revestimento do grão desempenhar a função de protetor microbiológico), ser rica em enzimas e permitir um fácil controlo do seu crescimento e germinação [4].

Assim, parâmetros do grão mais específicos como o conteúdo elevado em amido, o endosperma macio, um teor proteico moderado (9,5-10,5%), baixo teor de β -glucanos, capacidade germinativa (>95%), energia germinativa (>95%), baixa sensibilidade à água e dormência curta tornam a cevada ótima para ser utilizada. A dormência é uma característica comum nas sementes que retarda a germinação, afetando desfavoravelmente a qualidade do malte. Esta característica é afetada por condições ambientais durante o seu desenvolvimento e, no seu armazenamento, um ambiente fresco e seco minimiza a perda de dormência, assim como num ambiente quente e húmido ocorre o inverso [7].

De forma geral, os parâmetros qualitativos da cevada usada para maltagem são:

- a amostra não possuir outras sementes, cereais ou materiais estranhos;
- a ausência de grãos verdes e danos observados nos grãos (como grãos partidos);
- o grão seco (limites do teor de humidade estabelecidos) para evitar atividade microbiana;
- a variedade conhecida e aprovada de cevada;
- o cumprimento dos limites de especificação dos agroquímicos e seus testes prévios;

- um potencial enzimático suficientemente alto para cumprir as especificações necessárias do malte [15].

1.3 Malte

Na produção de cerveja, o malte apresenta propriedades preferenciais, quando comparado com o uso da cevada. A cevada, apesar de ser consideravelmente mais barata do que o malte, tem algumas desvantagens. Destacam-se, dessas limitações, a moagem ser mais difícil na cevada do que em malte friável, possíveis problemas durante a clarificação e filtração como resultado de teores mais elevados de β -glucanos e pentosanos, um conteúdo reduzido de FAN no mosto e consequente influência na nutrição da levedura, menor rendimento de extrato, atenuação final da cerveja insuficiente e a redução na formação de produtos desejáveis de Maillard e respetiva alteração da cor e sabor de cerveja produzida [5].

1.3.1 Processo de Maltagem

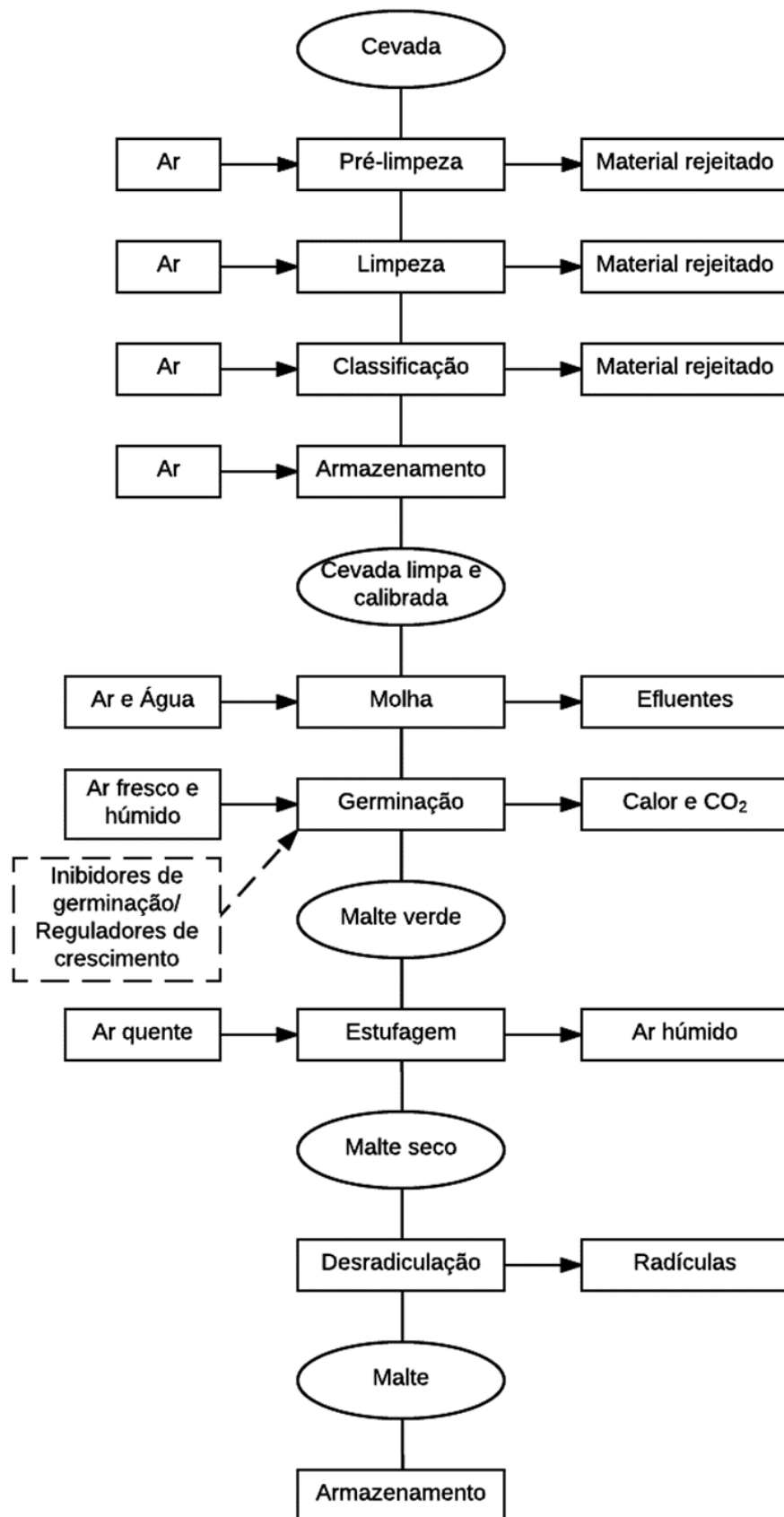


Figura 1.7 - Esquema do processo de maltagem (adaptado de [13] [23]).

1.3.1.1 Pré-limpeza, Limpeza, Classificação e Armazenamento

O processo de maltagem (Figura 1.7) inicia-se com a cevada limpa, classificada e, com um teor de humidade que varie entre 10-12%. No caso de a percentagem de humidade ser superior a 10-12%, após a colheita, é adequada uma secagem prévia. Essa secagem deve ser realizada utilizando ar a temperaturas inferiores a 50-60°C, para impedir a perda do potencial do grão de germinar. As condições de fluxo de ar no interior do equipamento devem ser as ideais para a quantidade de cevada que se pretende secar. Fluxo de ar abaixo do ideal pode causar potenciais danos na germinação do grão. Antes de iniciar o processo de maltagem é indispensável a realização de uma série de operações preliminares, tais como pré-limpeza, limpeza, classificação e armazenamento [8] [10].

A cevada é submetida inicialmente a uma pré-limpeza para remover as impurezas maiores antes de ser passada para silos de armazenamento. A finalidade da pré-limpeza é eliminar todo o tipo de material estranho que possa estar misturado com os grãos de cevada, sendo então peneirado e aspirado com fluxo de ar para serem removidas as suas impurezas. Elementos como folhas, palhas, pedras, terra, entre outros, são retirados nesta fase. Esta pré-fase é também necessária para evitar danos no equipamento e nos processos subsequentes. A fase da limpeza consiste em remover impurezas de tamanho semelhante, tais como sementes de outros cereais, ervas daninhas e grãos quebrados. Nesta etapa separam-se também os grãos que estão em bom estado dos que estão quebrados ou com diferentes dimensões. De entre os vários equipamentos usados para a limpeza do grão, podem-se realçar as mesas de gravidade, os peneiros e os separadores de discos [8] [15] [24].

Outra operação preliminar realizada, após a fase da limpeza, é a de classificação, que tem como objetivo separar os grãos de cevada de acordo com o seu tamanho para garantir que a massa dos grãos que vão ser submetidos ao processo de maltagem são uniformes. Assim, a associação da cevada a diferentes categorias de tamanho varia entre 2,2 e 2,5 mm de largura. Desta maneira, poderão ser evitadas situações de germinação do grão antes ou depois do desejado, garantindo um comportamento mais homogéneo do cereal ao longo do processo de maltagem [8] [24].

Note-se que é essencial todas as tecnologias referidas estarem equipadas com um sistema de extração de pó, para minimizar a sua dispersão. Por fim, a cevada é habitualmente armazenada em silos arejados que podem ter um volume até 4000 m³ [24].

1.3.1.2 Molha

A etapa da molha é fundamental na qualidade de produção de malte, porque a cevada precisa de oxigénio suficiente, calor e humidade para germinar. Simultaneamente, a molha permite também uma limpeza adicional aos grãos de cevada. Durante o processo da molha, a cevada ocupa a água e incha em cerca de um terço, a sua respiração aumenta lentamente no início e depois mais rapidamente, fazendo com que o grão acumule dióxido de carbono e calor. Esta etapa consiste em períodos de tempo em que o grão se encontra submerso em água intercalado com períodos de tempo a seco, podendo esta variação ter uma duração até 48 horas. Desta forma, é garantida a respiração do grão por um processo alternado (Figura 1.8). É comum a utilização de três períodos de imersão alternados com três períodos de repouso do grão. Os tempos de repouso têm como objetivo remover o dióxido de carbono produzido durante o processo de respiração do grão e a sua substituição por ar e, consequentemente, oxigénio.



Figura 1.8 - Esquema geral da etapa de molha, com os respetivos períodos de imersão do grão alternados com períodos de repouso (adaptado de [11]). As horas da duração e o número de períodos pode sofrer variação em cada fabrico.

Para se alcançarem resultados satisfatórios durante a maltagem subsequente, a entrada de água no grão por si só não faz com que ocorram as mudanças necessárias no seu interior, sendo necessária uma variação do teor de água no grão entre 42-48%, e o intervalo de temperatura mantido entre 14-18°C. Utilizam-se frequentemente temperaturas de 16°C, por favorecer as modificações iniciais do grão durante a etapa da germinação, tornando-as mais rápidas e homogêneas. Assim, quando a cevada absorve água, o embrião torna-se ativo e utiliza o oxigénio dissolvido na água para fins respiratórios. A entrada da água começa no embrião, seguida da hidratação da camada de aleurona e, posteriormente, do endosperma [6] [8] [24].

Além da fase de molha fornecer água e oxigénio à cevada, remove também a sujidade à superfície do grão. O filme de poeiras e microrganismos são, então, removidos por essa mesma água da molha [24].

No final do processo, a raiz principal rompe o grão e emerge entre as radículas, sendo este pequeno rompimento observado designado por *chitted* (“picar”) (Figura 1.9). Trata-se de um termo comumente utilizado por produtores de malte para quando se observa o “picar” das radículas, sendo a percentagem de grãos que exibem *chitting* um dos indicadores do sucesso da etapa da molha [6] [7].



Figura 1.9 - Rompimento “*chitted*” observado das radículas dos grãos de cevada (adaptado de [25]).

1.3.1.3 Germinação

A etapa seguinte do processo de maltagem é a germinação. Esta fase é caracterizada pelo crescimento do embrião do grão, que se manifesta através do crescimento das radículas na base do grão e da plúmula ao longo do lado dorsal do grão, com a modificação simultânea do conteúdo do endosperma [8] [23] [24]. Pretende-se, na germinação, obter a modificação necessária para um determinado tipo de malte, reduzindo ao mínimo a perda de peso consequente sobre a atividade do embrião [24].

O grão permanece no interior de um tanque de germinação durante 4 a 6 dias, mantido sob condições de tempo de germinação, humidade, temperatura, arejamento e recirculação de ar controladas, ocorrendo modificações no grão ao longo desse tempo [7] [13]. A durabilidade do grão no tanque depende de diversos fatores, como a variedade da cevada, o grau de crescimento que se verificou durante a molha, o método de carregamento do tanque de germinação (transferência molhada ou a seca do tanque da molha), a temperatura, a humidade do grão, o tipo de malte pretendido e a usagem ou não de aditivos [7].

A percentagem de germinação e a intensidade da modificação são controlados através do teor de humidade e temperatura aplicados. A temperatura nesta etapa deve situar-se entre 14-20°C, podendo ser mantida constante durante toda a durabilidade

da germinação, ou ter perfis crescentes e decrescentes [7] [15]. Relativamente ao teor de humidade, os grãos são humidificados pela aplicação de pulverização de água (aspersores) sobre o malte verde durante os primeiros dias de germinação, no revolvimento do grão, que podem ser manuseados consoante haja ou não necessidade [7] [15]. O teor de humidade deve estar compreendido entre 42-48% durante os dias da germinação. Note-se que nos níveis de humidade mais elevados, fatores como a modificação, desenvolvimento enzimático e do extrato são mais rápidos, no entanto, a energia necessária para a secagem é maior [23]. Contudo, a perda de humidade no grão é inevitável, sendo verificada uma perda de aproximadamente 2% durante o processo de germinação, acabando por ser benéfico na prevenção do crescimento excessivo do embrião e radículas [15].

Nas fases iniciais da germinação, é fundamental um bom fornecimento de oxigénio para a produção de enzimas. No entanto, demasiado arejamento leva a uma maior perda de extrato devido à respiração do embrião, enquanto um arejamento insuficiente pode também conduzir à morte do grão por ausência de oxigénio. A respiração do grão faz com que a temperatura aumente, o que, consequentemente, faça com que a respiração aumente ainda mais. Durante esta fase é necessário que o ar que entre no tanque esteja completamente saturado, de modo a impedir a secagem do grão. O método frequentemente mais usado para humidificar o ar usado no arejamento é a humificação por pulverização de água, sob a forma de pequenas gotículas. A concretização de um sistema de humificação deve incluir uma drenagem adequada e possível reutilização do excesso de água. O ar que sai do tanque é mais quente e apresenta um maior teor de humidade e de dióxido de carbono, impedindo a perda de humidade pelos grãos o crescimento excessivo do embrião e das radículas [7] [15].

No Inverno, as instalações de recirculação do ar superam a necessidade de aquecer o ar ambiente que entra no tanque, enquanto no Verão, o ar que sai através do leito é muitas vezes mais frio do que a temperatura ambiente, reduzindo assim os requisitos de refrigeração da recirculação. A recirculação do ar tem um particular interesse no fim da germinação, na medida em que a respiração do embrião abrandar. Devido à respiração do grão, o ar recirculado possui níveis mais baixos de oxigénio e mais altos de dióxido de carbono, comparativamente ao ar ambiente. Os efeitos do aumento do conteúdo de dióxido de carbono originam a redução de enzimas (α -amilase, β -glucanase e dextrinase limite) e o aumento de proteínas solúveis [15].

No final do processo é obtido malte verde, com um teor de humidade compreendido entre 40 e 44%, que apresenta as enzimas e o nível de desagregação do endosperma desejados. A paragem da fase é também controlada por uma

avaliação visual à plúmula e radícula do cereal. A plúmula estende-se por baixo da casca e o seu comprimento ideal deverá corresponder a $\frac{3}{4}$ do comprimento do grão, enquanto a radícula poderá atingir até duas vezes o comprimento do grão (Figura 1.10). Quando se verificarem as condições mencionadas, a germinação deve ser interrompida [13].

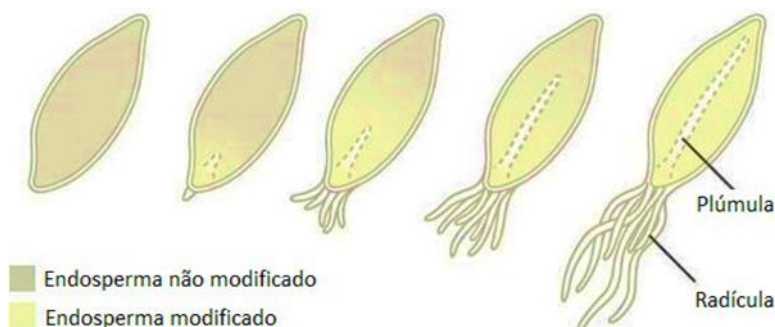


Figura 1.10 - Imagem representativa do crescimento da plúmula e da radícula desde a cevada (estado não modificado) até ao último dia de germinação (endosperma modificado) (adaptado de [26]).

Para acelerar significativamente a taxa de modificação do grão, podem ser adicionados reguladores de germinação, que podem agir como estimuladores ou inibidores no seu crescimento. O intuito será aumentar a síntese de enzimas e o extrato, diminuindo o tempo de germinação e a dormência da cevada. O ácido giberélico e o bromato de potássio são exemplos de reguladores que, se permitidos, podem ser adicionados externamente no último período de imersão da molha ou no início da germinação (grão no estado “*chitted*”) [7] [15].

O ácido giberélico pode ajudar a quebrar a dormência ou estimular grãos com energia reduzida, acelera a modificação, aumenta a atividade enzimática (gera, normalmente, maior formação de cor) e intensifica a não homogeneidade quando adicionado a lotes com *chitting* não homogêneo [23].

A. Processos bioquímicos que ocorrem durante a germinação

Uma das mudanças essenciais na modificação do grão é o grande aumento das quantidades de algumas enzimas hidrolíticas. As enzimas hidrolíticas produzidas são, assim, transportadas até ao endosperma, onde irão então intervir sobre as paredes celulares, os grânulos de amido e a matriz proteica que os envolve (Figura 1.11) [8]. Esta alteração no endosperma faz com que ocorra uma degradação parcial de substâncias de reserva, tais como as paredes celulares, goma, amido e proteínas [3] [8]. Por conseguinte, verifica-se uma redução na resistência do tecido, na medida que malte seco, em contraste com cevada seca, é friável e prontamente esmagado

[24]. Após serem atingidas as condições de humidade necessárias, ocorre a ativação e síntese de enzimas responsáveis pela hidrólise da matriz proteica (proteólise), dos grânulos de amido (amilólise) e das paredes celulares do endosperma (citólise). Torna-se, assim, favorecido o acesso ao amido, que será hidrolisado em açúcares mais tarde consumidos pelo embrião [13]. Assim, durante a germinação, as enzimas necessárias para a degradação total do amido contido no endosperma são ativadas e/ou sintetizadas, juntamente com as enzimas que contribuem para a hidrólise de β -glucanos, destacando-se as amilases, as proteases na matriz proteica e as β -glucanases nas paredes celulares [3] [13].

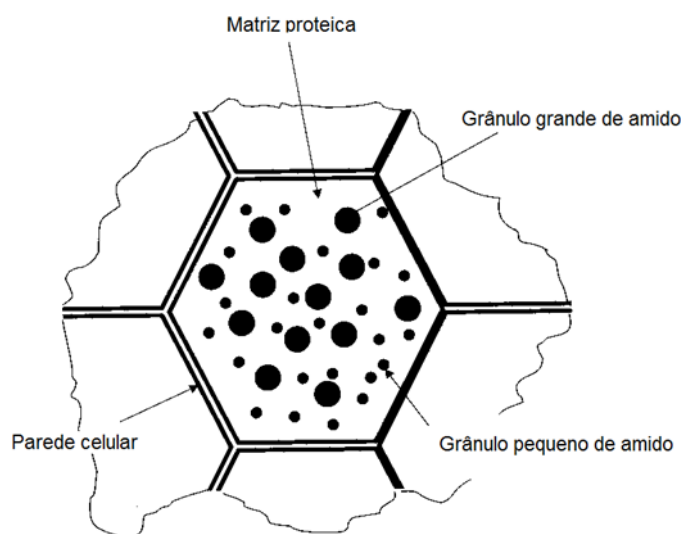


Figura 1.11 - Endosperma não modificado, onde irão atuar enzimas hidrolíticas que vão intervir sobre as paredes celulares, os grânulos de amido e a matriz proteica (adaptado de [22]).

No início da germinação, processo induzido pela absorção de água ao nível da região proximal do grão, o embrião através dos seus açúcares sintetiza ácido giberélico (hormona vegetal), que é de seguida transportado para as células da camada de aleurona, onde estimula a síntese de enzimas. As enzimas hidrolíticas produzidas na camada de aleurona expandem-se para o endosperma, onde são responsáveis pela hidrólise do amido a monossacáridos e oligossacáridos, das proteínas a aminoácidos e péptidos e dos lípidos a ácidos gordos. De seguida, os produtos de hidrólise deslocam-se para o escutelo, onde são modificados na sua forma transportável, para poderem ser transportados para o embrião, sendo aí usados na respiração e síntese de novos tecidos [7]. A sequência de passos que estão na base deste processo bioquímico estão representados na Figura 1.12.

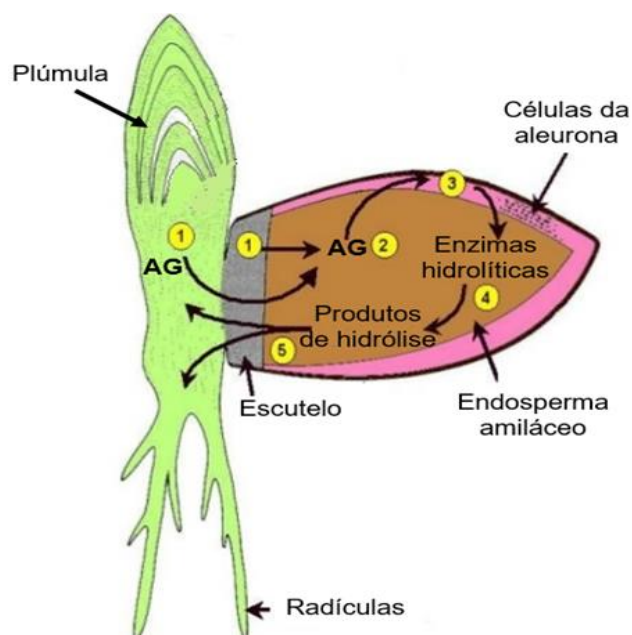


Figura 1.12 - Sequência de passos dos mecanismos fisiológicos da germinação do grão de cevada (adaptado de [27]).

A.1. Degradação amilolítica

Como referido anteriormente, durante o processo de maltagem o amido é parcialmente degradado (cerca de 15-18%), sendo só durante a brassagem que as enzimas amilolíticas do malte quebram o amido em açúcares fermentescíveis. Nas amilases, encontramos as α - e β -amilases, que atuam nas ligações glicosídicas α -1,4 que ligam os resíduos de D-glucose que constituem o amido; por outras palavras, a α - e β -amilase hidrolisam as ligações α -1,4 do amido. A endoenzima α -amilase intervém no interior das moléculas de amilose e amilopectina, na parte central das moléculas de forma aleatória, hidrolisando as ligações α -1,4 aí existentes e produzindo dextrinas. No que diz respeito à β -amilase, corresponde a uma exoenzima que hidrolisa as ligações α -1,4 existentes nos dois componentes do amido a partir da extremidade não redutora da cadeia, isto é, as ligações próximas das pontas das moléculas. Liberta, como produto final, moléculas de maltose [3] [8]. Note-se que a α -amilase não existe na cevada e que a sua atividade vai aumentando com o decorrer da germinação. A β -amilase está presente na cevada na forma inativa, dependendo a sua ativação da proteólise, que está ligada à atividade e respiração do embrião. A formação de ambas as enzimas é influenciada pela variedade da cevada [15].

A.2. Degradação proteolítica

O processo de proteólise corresponde aos produtos libertados da hidrólise proteica e da atividade das proteases [7]. As proteases, que atuam então sobre a matriz proteica, desempenham um aumento da sua atividade proteolítica com o

decorrer dos dias de germinação, resultando esse aumento da ação conjunta dos tipos de enzimas principais, as endoproteases e as exoproteases. Participam também na proteólise as carboxipeptidases e as dipeptidases, mas destacam-se as endopeptidases por quebrarem as proteínas do interior e aumentarem o teor de azoto solúvel e as exo-enzimas por atacarem as pontas das cadeias de proteínas e definirem aminoácidos livres. Em suma, as endoproteases promovem a solubilização das proteínas, que serão hidrolisadas pelas exoproteases a aminoácidos simples, que são usados pelo embrião [7] [8]. As proteínas são transformadas em substâncias moleculares solúveis de baixo, médio e alto peso molecular durante a proteólise. Uma degradação insuficiente resulta na falta de azoto assimilável para a levedura, podendo originar problemas durante a fermentação e maturação, como a produção de produtos secundários desfavoráveis (principalmente diacetilo). Os parâmetros azoto solúvel e FAN dão uma primeira impressão da solubilização das proteínas do malte. A proteólise é estimulada pelo aumento do teor de humidade e por menores temperaturas de germinação [6] [15].

A.3. Degradação citolítica/ Solubilização e quebra dos β -glucanos

As substâncias presentes no revestimento dos grânulos de amido são degradadas durante a citólise. A degradação citolítica do endosperma está relacionada com a quebra das paredes celulares do endosperma e respetiva acessibilidade das restantes enzimas hidrolíticas ao amido e às proteínas que se localizam no interior das células do endosperma [6]. Durante esta etapa também a ação das enzimas β -glucanases é fundamental, sendo as responsáveis pela degradação dos β -glucanos contidos nas paredes celulares do endosperma. Como já foi referido, a presença de componentes não degradados das paredes celulares, como os β -glucanos, podem desencadear problemas de viscosidade e turbidez, sendo necessária a sua hidrólise [8]. Além disto, os β -glucanos são responsáveis pela formação de géis, devido ao seu elevado peso molecular, originando problemas de filtração do mosto. A enzima responsável pelo primeiro passo da degradação das paredes celulares é a β -glucano solubilase, visto que liberta os β -glucanos aí contidos. As endo- β -glucanases são sintetizadas nas células da camada da aleurona e do escutelo durante a germinação e expandem-se para o endosperma, onde degradam os β -glucanos que são libertados das paredes celulares por intervenção da β -glucano solubilase. O malte deverá então conter um teor elevado de endo- β -glucanases, pois são enzimas que hidrolisam β -glucanos de elevado peso molecular e formam tri e tetrassacáridos [3] [7].

Os indicadores da citólise estão relacionados com a friabilidade, o conteúdo de β -glucanos e a viscosidade. Este é o pré-requisito para facilitar a degradação dos

grânulos de amido por enzimas, durante a brassagem. Um processo de citólise insuficiente resulta em perdas de produção e libertação de β -glucanos de peso molecular superior [6] [7].

Resumidamente, as cadeias longas de amido são quebradas em cadeias mais curtas e açúcares, sendo esses açúcares transportados para o embrião e atuando como fonte energética no crescimento da plúmula e da radícula. A consequente degradação das paredes celulares desencadeia uma perda de resistência que irá tornar o grão mais friável, e que facilitará consequentemente a sua moagem [13].

As interações entre os três processos bioquímicos influenciam a composição química e a eficiência do processo de fabrico de cerveja [5] [6].

1.3.1.4 Estufagem

O terceiro e último passo para converter a cevada em malte é a estufagem. Neste passo, a remoção controlada de água a partir do malte verde é essencial para impedir o crescimento e modificação do grão, obter um produto estável que possa ser armazenado a longo prazo, preservar enzimas, desenvolver e estabilizar propriedades como o sabor e a cor e remover sabores indesejáveis [8] [15]. A dificuldade do processo está em secar o malte até atingir um teor de humidade seguro, sem prejudicar o sistema enzimático. Há determinadas enzimas que são sensíveis ao calor na presença de um elevado teor de humidade. Assim, para as proteger, o malte deve ser aquecido de forma cuidada, aumentando de forma gradual a sua temperatura [13].

O processo típico de secagem industrial ocorre em três etapas distintas, sendo fundamental a compreensão das alterações químicas que se dão (Figura 1.13) [6] [15]:

1. Inicialmente, a humidade é removida do grão a uma velocidade constante, sendo reduzida de 44% para 12% [8]. Com isto, a modificação que ocorre no grão procede de forma limitada, a plúmula continua a crescer e as atividades e concentrações de algumas enzimas aumentam, enquanto outras diminuem (enzimas termossensíveis). A referente fase é designada por “Pré-secagem” ou “*Pré-break*”. [7] [10].

2. Na etapa intermédia, a “Secagem”, a quantidade de água do malte vai sendo reduzida gradualmente, de cerca de 12% para 4%, com a intenção de garantir que o restante poder enzimático vá ocorrendo nos patamares de temperatura correspondentes. Quando o teor de humidade for insuficiente, ocorre a inativação enzimática [7] [15]. Durante esta fase, a taxa de secagem decresce com o tempo [13]. As camadas de malte no interior do tanque vão sofrendo uma perda de humidade ao longo das “subcamadas”, desde a parte inferior até à subcamada superior. Assim, as subcamadas anteriores atingem primeiro a fase seguinte por se encontrarem mais

secas, existindo assim uma heterogeneidade de teores de humidade nas camadas de malte. Quando a última camada é seca, atinge-se o designado “*break-point*” (Figura 1.14), que indica que todo o malte se situa na segunda fase da estufagem [13] [15].

3. No final do processo, a temperatura pode ser aumentada e de seguida mantida nesse patamar durante uma a duas horas aproximadamente, seguida de um período de arrefecimento, para atingir uma temperatura adequada de descarga e armazenamento do malte [24]. Nesta última fase, intitulada “Cura”, as temperaturas estão compreendidas entre 80°C e 105°C. Acima dos 80°C, formam-se compostos responsáveis por atribuir cor e aromas/ gostos intensos ao malte (através das reações de Maillard) [7]. O teor de água irá diminuir até cerca de 3,5-4% nos maltes claros e 1,5-2% se o objetivo pretendido forem maltes escuros [6].

Então, antes do malte ser transportado para o desradiculador, é arrefecido ainda no interior do tanque de estufagem, através da aplicação de ar frio do ambiente até que a temperatura do grão adquira valores inferiores a 35-40°C [7] [24].

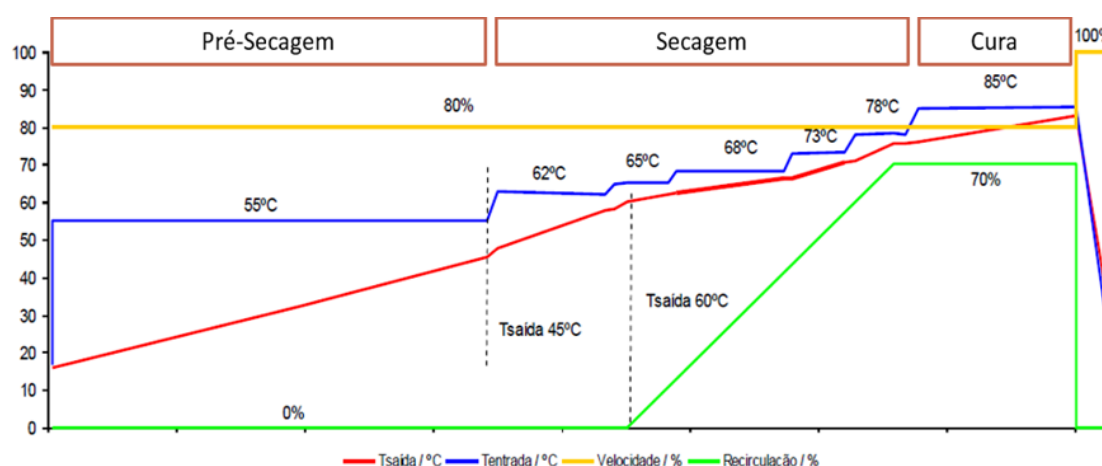


Figura 1.13 - Exemplo de diagrama de estufagem mais comum para se produzir malte Pilsen. Quando a temperatura de saída atinge 45°C, ocorre um único revolvimento do grão (indica o fim da primeira fase de estufagem). Quando a temperatura de saída é de 60°C, é iniciada a recirculação do ar, que deixa de estar saturado. A velocidade (amarelo) referida corresponde à velocidade máxima

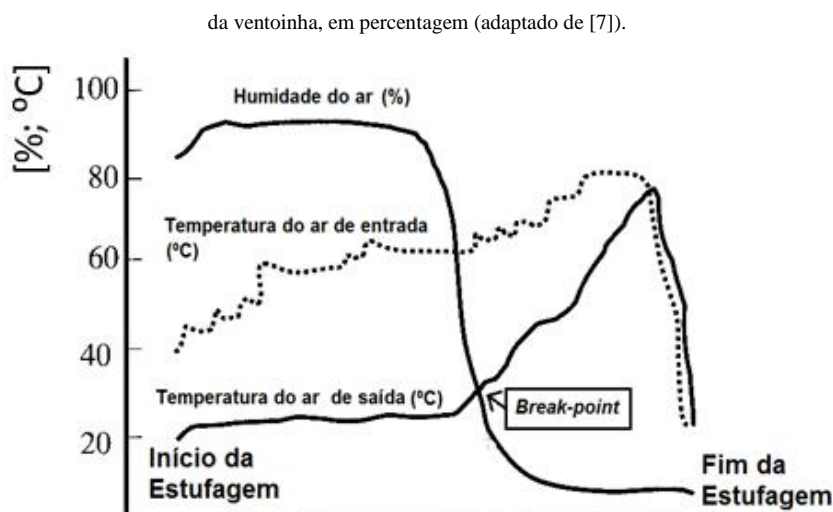


Figura 1.14 - Mudanças típicas de humidade e temperaturas do ar de entrada e de saída da camada de malte. Observação do “*break-point*”, que é atingido quando a última subcamada superior é seca, sofrendo um aumento a temperatura do ar que sai da camada de malte e consequente diminuição drástica da humidade (adaptado de [22]).

A. Enzimas

O processo de secagem deve garantir que a maior perda de humidade ocorra a temperaturas o mais baixas possível, pois à medida que a temperatura aumenta e a humidade diminui, mais enzimas vão ficando destruídas. A atividade enzimática é mantida enquanto a temperatura for abaixo dos 60°C e o teor de humidade superior a 30%. A presença de enzimas hidrolíticas depende das suas temperaturas de ativação e inativação (Tabela 1.1) [13]. Assim, a composição do malte altera-se durante esta fase, de modo a que a atividade das enzimas diminua enquanto a cor, aroma, sabor e o teor de polifenóis extraíveis aumente [24].

Algumas enzimas, como a α -glucosidase, são inativadas consideravelmente a 45°C, não chegando a atingir as temperaturas de estufagem. A 80°C as atividades das enzimas β -amilase e β -glucanase são significativamente reduzidas. A enzima mais estável é a α -amilase e a sua atividade pode chegar a aumentar durante a estufagem. No fim da secagem tem-se, então, um maior teor de α -amilases e algumas peptidases e um teor mais baixo de β -amilases e β -glucanases. No malte torrado (maltes especiais), o grão é sujeito a temperaturas muito mais elevadas no patamar de “Cura”, perdendo todo o poder enzimático. Nesta situação, a destruição enzimática é completa [13] [24].

A quantidade de enzimas contidas no malte final depende não só da temperatura sensível das enzimas, mas também do seu teor no malte verde, dos parâmetros que se programa para a temperatura, a humidade, a circulação de ar e a duração do processo e, por último, da profundidade das camadas de malte e do formato do tanque de estufagem [15].

Tabela 1.1-Atividade das principais enzimas típicas do malte e respetivas temperaturas de inativação (adaptado de [28] [29])

Enzima	Temperatura ótima (°C)	Temperatura inativação (°C)
α -amilase	70-75	80
β -amilase	60-65	70
Endo- β -glucanase	37-45	55
β -glucano solubilase	60	73
endopeptidase	40-60	60-80
carboxipeptidase	50-60	75

B. Término da germinação e da modificação

Após a remoção de água, a germinação é interrompida, sendo a modificação finalizada e ocorrendo uma consequente paragem no crescimento das radículas. Assim, o grão ao ser submetido a elevadas temperaturas perde a sua atividade e deixa de respirar, não ocorrendo mais processos de degradação. O malte torna-se então preparado para ser armazenado por longos períodos de tempo [1].

B.1. Formação de compostos de cor e sabor

Durante a etapa de secagem, o malte vai desenvolvendo uma coloração que resulta da formação de melanoidinas, como resultado das reações de Maillard, que surgem entre os produtos de degradação enzimática do amido e das proteínas, nomeadamente açúcares e aminoácidos. Essas reações de Maillard ocorrem a temperaturas próximas de 95°C [6] [8]. Quanto mais melanoidinas se formarem, mais escuro se irá tornar o malte, logo, a sua formação define a cor do malte e, portanto, da cerveja. De forma geral, quanto mais intensa a coloração do malte, maior a temperatura a que o processo é submetido e, consequentemente, menor será a sua atividade enzimática. No fabrico de maltes mais claros, evita-se a formação de melanoidinas, o que quer dizer que a quantidade de produtos de degradação (açúcares e aminoácidos) deve ser o mais baixa possível e a temperatura de estufagem não ser superior a 100°C. Em contrapartida, quando se pretendem produzir maltes especiais, a formação de melanoidinas é garantida se o aquecimento no final do processo for superior a 105°C. Em suma, quando se pretende obter malte mais claro, usa-se um programa de estufagem com temperaturas baixas para se garantir que o poder enzimático é preservado, adquirindo o malte final um grande extrato e

poucos compostos de cor e sabor; quando o intuito é a obtenção de um malte escuro, a situação inversa é a adotada [7] [13].

É de salientar que o aroma característico do malte forma-se quando a temperatura está entre os 80°C e 85°C (fase de “cura”), conferindo-lhe um aroma doce e suave [1].

B.2. Formação de precursores de DMS e DMS livre durante a estufagem

A presença de compostos de enxofre na cerveja provocam-lhe sabores indesejáveis, [15] sendo a sua presença um critério sobre o qual se terá especial atenção na qualidade do malte. Uma das substâncias mais relevantes que se forma durante a estufagem e que deve ser eliminada ou impedida de se formar é o sulfureto de dimetilo (DMS) [7]. O principal precursor do DMS é o p-DMS, que se encontra presente no malte e é formado na etapa da germinação pela degradação de proteínas. Deste modo, durante a secagem, o p-DMS é convertido em DMS livre que, sendo um composto volátil, evapora. Logo, quanto maior a temperatura a que se submete a fase da “Cura”, mais p-DMS é convertido em DMS e, conseqüentemente, mais é evaporado e eliminado. Como a conversão que ocorre não é completa, uma determinada quantidade de p-DMS vai permanecer nos grãos de malte [1] [13].

Como quanto mais elevada for a temperatura de cura menor é o seu conteúdo de p-DMS, o malte mais escuro irá então apresentar um menor teor de p-DMS. Uma redução do precursor em maltes claros, através da utilização de temperaturas baixas durante mais tempo faz com que um aumento de coloração seja inibida [6].

Os fatores que promovem a formação de DMS estão relacionados com a baixa velocidade do ar, camadas de malte profundas no interior do tanque, temperatura da “pré-secagem” abaixo de 50°C e temperatura de “Cura” inferior a 65°C [1] [13].

B.3. Formação de nitrosaminas

As nitrosaminas (N-nitrosodimetilamina, NDMA) são substâncias carcinogénicas que são formadas a altas temperaturas durante a estufagem, a partir de reações entre aminas (aminoácidos) e óxidos de azoto presentes no ar que entra no tanque, após o seu aquecimento [1]. Pretende-se, também, que estas substâncias voláteis sejam eliminadas ou impedidas de se formarem [7]. Os óxidos de azoto (gases de combustão) forma-se através da oxidação do azoto no ar pelo oxigénio quando o combustível é queimado. Estes gases reagem com determinadas proteínas (hordeína, por exemplo), que é formada durante a germinação e que se encontra principalmente nas radículas. Uma maneira de precaver a presença de óxidos de azoto no ar que entra no tanque e conseqüente aparecimento de nitrosaminas nas

radículas do embrião é por meio de aquecimento indireto do ar, por intermédio de permutadores de calor. Desta forma, previne-se que os gases libertados pela combustão entrem no tanque e, em contacto com o malte, o contaminem. Há, no entanto, alternativas para quando o aquecimento do ar é feito de forma direta, como fontes de calor pobres em óxidos de azoto e, consequentemente, ricas em enxofre, ou ainda o uso de bromato de potássio, que reduz a formação de nitrosaminas no malte [7] [13]. O aquecimento indireto dos tanques é, assim, o mais usado nas instalações de maltagem, com o intuito de controlar as nitrosaminas [24].

1.3.1.5 Desradiculação

Tal como foi referido, quando termina o processo de estufagem, o calor é desligado e o grão é arrefecido através da passagem de uma corrente de ar no interior do tanque, à temperatura ambiente. O malte é enviado através de um transportador para o desradiculador, que remove as radículas por agitação mecânica. Essas radículas secas caem diretamente para um funil e são aproveitadas para alimentação animal [22]. Torna-se necessário que as radículas sejam removidas por afetarem as características da cerveja ao conterem um elevado teor de compostos azotados e fenólicos [13]. Esses aspetos fazem com que se crie um sabor amargo na cerveja e um aumento mais do que o suposto da sua cor [6].

1.3.1.6 Armazenamento

O passo de armazenamento do malte é essencial, uma vez que é aconselhável o malte ficar armazenado pelo menos quatro semanas em silos. O malte final não é utilizado de imediato após a etapa de secagem, porque pode produzir um mosto turvo e de difícil filtração e fermentação, devido à sua rigidez. Dentro do silo, o malte vai atingir um equilíbrio em termos de humidade. O armazenamento deve estar num local com uma temperatura adequada, para que a qualidade do malte não seja perdida. Há microrganismos (fungos) que sobrevivem a baixos teores de humidade, colocando em causa o armazenamento dos grãos. Assim, mantendo o malte em condições de armazenamento controladas faz com que seja possível conservá-lo até ser usado [1] [13].

1.4 Instalação Piloto de Mini-maltagem (IPM)

A Unicer Bebidas S.A., tem nas suas instalações de Leça do Balio uma Instalação Piloto de Mini-maltagem (IPM) (Figura 1.15).

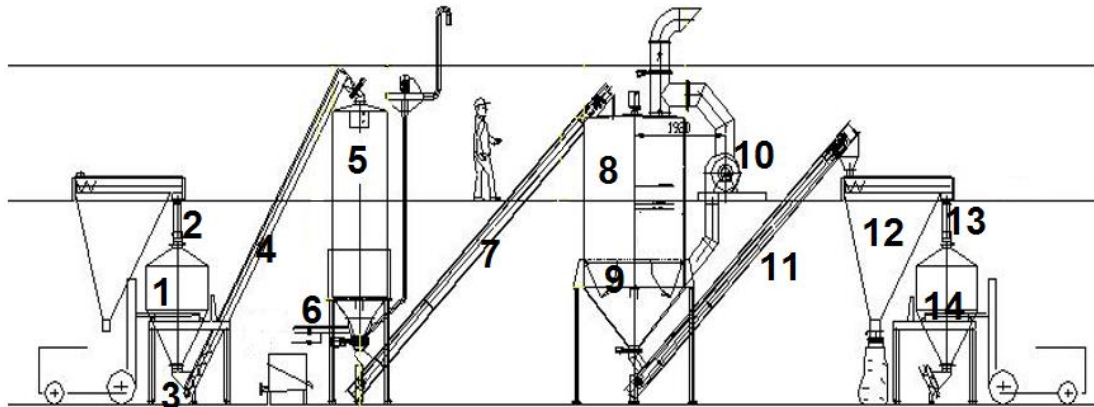


Figura 1.15- Planta da IPM. (fornecida pela Unicer). 1- silo de armazenamento de cevada; 2- sistema de aspiração de ar; 3- chapa; 4- transportador parafuso; 5- tanque de molha; 6- equipamento de pesagem; 7- transportador sem-fim; 8- tanque de germinação/estufagem; 9- fundo

Inicialmente, a cevada é colocada num **silo de armazenamento de cevada** (1, Figura 1.16) constituído por aço e com a capacidade de acumular 1300kg de cevada [7]. No silo está instalado um **sistema de aspiração de ar** com dois filtros de poeiras (2, Figura 1.16), com o objetivo de reter grande parte de pó que é libertado quando se faz a descarga da cevada para o interior do tanque.



Figura 1.16- Silo de armazenamento de cevada (1) e sistema de aspiração de poeiras com os dois respetivos filtros de poeiras (2).

A cevada é removida através da base do tanque, seguindo por um **transportador parafuso** (3, Figura 1.17) que a encaminha para o **tanque de molha**

(5, Figura 1.17). O transportador parafuso, de aço inoxidável, tem capacidade para transportar 2600kg de cevada por hora [7]. No fundo do silo de armazenamento existe uma chapa (4, Figura 1.17) que permite regular manualmente a quantidade de cevada que vai sendo transferida para o transportador parafuso.



Figura 1.17- Transportador parafuso (3), chapa do fundo do silo de armazenamento (4) e tanque da molha (5).

O tanque de molha da instalação, em aço inoxidável, é do tipo cilindro-cônico, com capacidade de enchimento até 1300kg de cevada em cada fabrico. O tanque tem a forma de um cilindro à exceção da sua base, que é cônica (inclinação de 55°). O ar entra no tanque por cima durante as fases a seco da molha e por baixo durante as fases de imersão do grão. Os sobrenadantes do interior do tanque são removidos com o auxílio de ar comprimido, encontrando-se esse mecanismo de remoção ligado à canalização para escoamento de água e sobrenadantes. Para se perceberem as condições a que se submete a cevada no interior do tanque, existem um **sensor de pressão** na parte de baixo do equipamento, um **termómetro** e **aparelhos de medição** do nível da água no seu interior. Assim, todos os parâmetros são verificados no autómato. As canalizações de fornecimento de ar ambiente para o interior do tanque, extração de dióxido de carbono, abastecimento de água e escoamento de água são em aço inoxidável. Nas fases húmidas da molha existe um **permutador de calor** no qual circula no seu interior o agente de arrefecimento solução de 30% glicol-

água (-3°C), assim como, para o ar usado nas fases húmidas e o ar que entra no tanque durante as fases secas são arrefecidos em permutadores de calor. Existe também uma **ventoinha** que permite extrair o ar rico em dióxido de carbono no interior do tanque [7]. Por baixo do tanque está adaptado um pequeno **equipamento de pesagem**, que permite conhecer a massa de cevada e água no seu interior.

A saída da cevada dá-se pela parte inferior do tanque, através de um **transportador sem-fim** (6, Figura 1.18) de aço inoxidável, sendo transportada para o **tanque de germinação/estufagem** (7, Figura 1.19). O referente transportador possui uma capacidade máxima para transportar cevada húmida de 2600kg por hora. O transporte de cevada húmida do tanque da molha para o tanque de germinação/estufagem é do tipo seco [7]. Existem malterias que usam o tanque de germinação separado do tanque de estufagem [1] mas, neste caso, é usado um só tanque para ambas as funções. As vantagens de ser usada esta combinação estão relacionadas com o impedimento de crescimento de fungos, fácil limpeza e permitem um melhor controlo energético [7].



Figura 1.18- Transportador sem-fim (6).

O tanque é circular, em aço inoxidável, e tem a capacidade de conter 1300kg de malte por fabrico. Para a germinação, são usados no interior do equipamento dois **agitadores** (8, Figura 1.19) suportados por um **dispositivo gerador** (8, Figura 1.19) localizado no centro do tanque, em aço inoxidável, para revolverem periodicamente o grão e assim assegurarem a sua homogeneidade do perfil de humidade e temperatura [8]. Assim, os agitadores revolvem toda a área ocupada pelo grão, enquanto o dispositivo gerador roda. Existem ainda **aspersores** (8, Figura 1.19) localizados no dispositivo gerador, posicionados entre os agitadores, que permitem humidificar o grão durante o revolvimento do grão, quando necessário. O tanque tem ainda três **termómetros** que permitem medir a temperatura no seu interior a três alturas diferentes, sendo retirados de forma automática do interior do tanque quando o dispositivo gerador está em movimento [14].

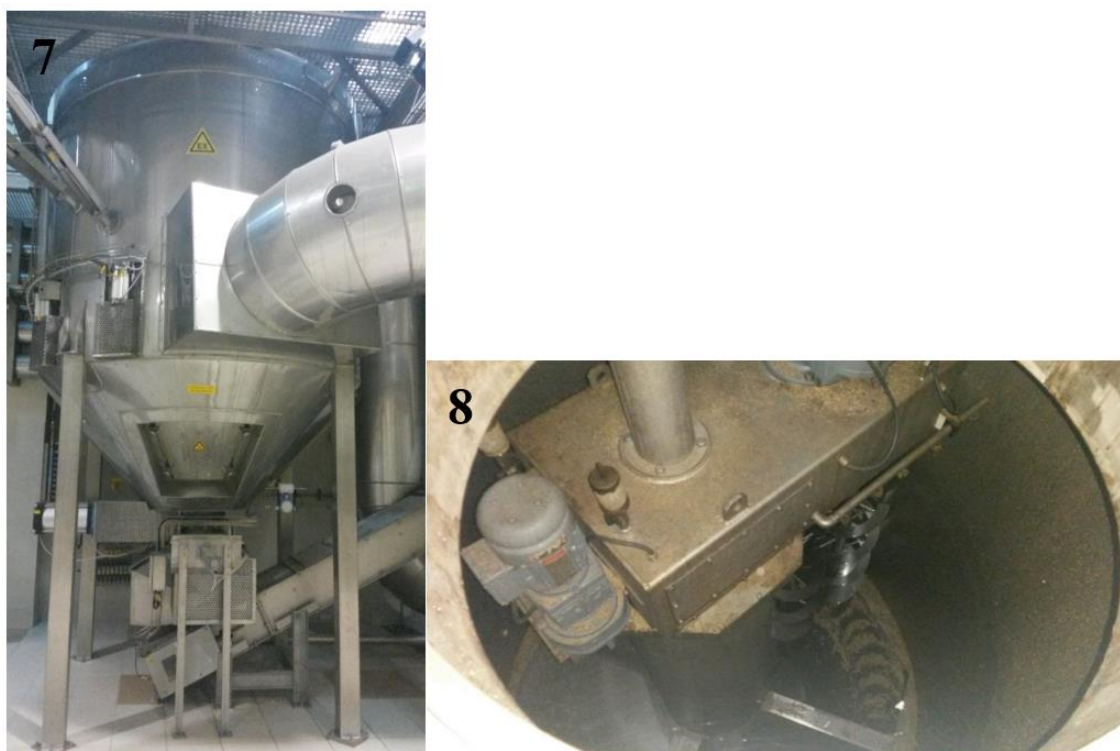


Figura 1.19- Tanque de germinação/ estufagem (7) e interior do tanque com um dispositivo gerador, dois agitadores, e aspersores (8).

O fundo do tanque de aço inoxidável é dividido em quatro partes e perfurado, que permitem a circulação de ar através dos grãos de cevada. Estas divisões no fundo do tanque abrem na altura de descarga, possibilitando a saída do malte para o transportador seguinte. A correta manutenção e limpeza do pavimento perfurado é necessária de modo a garantir o bom fluxo de ar para a cevada germinar [15]. Por baixo desse fundo perfurado, no cone do tanque, existe um **sensor de pressão** que conduz o malte para o transportador seguinte. Tal como no tanque da molha, este tanque também possui associadas tubagens que transportam ar e água para o seu interior, nomeadamente a canalização de água para os aspersores e o arejamento durante a germinação e a estufagem. É usada uma **ventoinha** no equipamento de arejamento, durante a germinação. No processo, o ar ambiente que entra no tanque é humidificado através dos aspersores, passando de seguida por um permutado de calor (com solução glicol-água) para ser arrefecido e só depois passa pela ventoinha para entrar no tanque.

É inevitável a ocorrência de uma diferença de temperatura a diferentes alturas do leito do grão, sendo essencial que seja mantida no seu mínimo. O revolvimento do malte ou a regulação do arejamento são possíveis soluções para minimizar essa diferença. Pretende-se que a diferença entre o ar que entra e o ar que sai seja a menor possível, sendo o efeito conseguido ao ser aumentado o volume que passa

através do grão e consequente aumentada a velocidade de arejamento; este procedimento tem um sucesso apenas parcial, visto que o fluxo de ar depende da permeabilidade do leito o qual, por sua vez, depende da quantidade de revolvimento do grão. É conveniente o revolvimento mecânico decorrer lentamente, de forma a não danificar ou cortar o crescimento das radículas nem o crescimento do grão, uma vez que o seu mau desenvolvimento terá consequências na síntese de enzimas [7].

Quando o equipamento desempenha a função de tanque de estufagem, o ar ambiente que entra no tanque por baixo do chão perfurado, antes de passar pela ventoinha, atravessa um permutador de calor onde é aquecido até à temperatura desejada, através da passagem de vapor saturado. Trata-se, assim, de um método de aquecimento indireto do ar que entra. No aquecimento indireto por intermédio de permutadores de calor evita-se o aparecimento de nitrosaminas, tal como já tinha sido referido, sendo este o sistema de aquecimento preferido [14].

De seguida, quando o ar desocupa o tanque, pode ser libertado para a atmosfera ou parcialmente recirculado, para ser reutilizado em fases da estufagem mais avançadas, onde as temperaturas são mais elevadas. A recuperação de calor no local de saída do tanque dá-se através do ar que é transferido através de um permutador de calor para o fluído (solução de glicol), sendo bombeado daí para um permutador de calor semelhante (onde ocorre a transferência de calor de modo inverso), que se encontra no local de saída do ar ambiente. Por outras palavras, no local de saída o calor é transferido para o fluído e quando volta para o local de entrada, a transferência de calor ocorre do fluído para o ar. Na saída do ar do tanque está instalado um termómetro que indica a temperatura do ar que abandona o tanque [7].

Após a etapa de estufagem, as quatro partes do fundo do tanque são abertas e o malte é encaminhado para outro **transportador sem-fim** (9, Figura 1.20), que irá transportar o grão para o **desradiculador** (10, Figura 1.20). O transportador sem-fim tem capacidade para transportar 1180kg de malte por hora, e tem também colocado na ponta uma chapa por baixo do tanque de germinação/ estufagem, para regular o fluxo de malte que é descarregado a partir do tanque.



Figura 1.20- Transportador sem-fim (9) e desradiculador (10).

O desradiculador, também em aço inoxidável, tem a capacidade para um fluxo de malte de 1180kg por hora [7]. Por agitação mecânica, são removidas as radículas dos grãos neste equipamento. Na sua base existe um funil para onde caem as radículas.

Por último, o malte já sem radículas é orientado para um **transportador parafuso**, em aço inoxidável e com capacidade de transportar 1180kg por hora [7], para um **silo de armazenamento** (11, Figura 1.21), localizado no piso -1 das instalações da Mini-malteria. O malte, já em condições seguras de poder ser armazenado, fica no interior do silo de armazenamento até ser usado.



Figura 1.21- Silo de armazenamento (11).

1.4.1 Avaliação da qualidade do malte

A conversão de cevada em malte tem como objetivo obter um produto final com propriedades específicas que garantam a sua qualidade para a produção de cerveja. Para serem atingidos os parâmetros exigidos, é necessário fazer um controlo dos mesmos em laboratório. Assim, a avaliação da qualidade do malte tem como base o resultado de análises laboratoriais efetuadas. A *European Brewery Convention* (EBC) é uma entidade europeia que tem vindo a desenvolver métodos analíticos que englobam todo o processo de produção de cerveja, usados em laboratórios de indústrias de malte e de cerveja. [13] Na seguinte tabela são referidos os valores padrão mais atuais das análises efetuadas ao malte:

Tabela 1.2- Especificações físico-químicas das principais análises efetuadas ao malte *Pilsen* (adaptado de [15]) (LIE – Limite Inferior Específico; LSE – Limite Superior Específico; s.m.s – sob matéria seca; UC- Unidades *Ceralpha*)

Característica	Unidade	LIE	LSE	Método
Humidade	%(m/m)	-	5,0	<i>Analytica EBC, 1997, method 4.2</i>
Extrato s.m.s.	%(m/m)	81,0	-	<i>Analytica EBC, 1997, method 4.5.1</i>

Tempo de sacarificação	min	-	15	<i>Analytica EBC, 1997, method 4.5.1</i>
Coloração	EBC	-	4,0	<i>Analytica EBC, 1997, method 4.7.2</i>
FAN	mg/100g	120	-	<i>Analytica EBC, 1997, method 4.10</i>
Atividade da α -amilase	UC/g	160	-	<i>Ceralpha method</i>
Atividade da β -amilase	UC/g	13	-	<i>Betamyl method</i>
pH do mosto		5,8	-	<i>Analytica EBC, 1997, method 4.18</i>
β -glucanos no mosto	mg/l	-	200	<i>Analytica EBC, 1997, method 4.16.2</i>
Friabilidade	%	80	95	<i>Analytica EBC, 1997, method 4.15</i>
Modificação	%	85	-	<i>Analytica EBC, 1997, method 4.15</i>
Homogeneidade	%	70	-	<i>Analytica EBC, 1997, method 4.15</i>
Resíduos <2,2mm	%	-	1,5	<i>Analytica EBC, 1997, method 4.22</i>
Matérias estranhas	%	-	0,5	<i>Analytica EBC, 1997, method 4.22</i>
Grãos vítreos	%	-	2,0	<i>Analytica EBC, 1997, method 4.15</i>
p-DMS	mg/kg	-	4,5	<i>Analytica EBC, 1997, method 4.5</i>

1.4.1.1 Análises na cevada

Relativamente aos requisitos da cevada para maltar, é realizada de início uma avaliação visual da espécie em questão, sendo essa análise decisiva em termos de aceitação ou rejeição de um lote. Nesta fase, é tida em consideração na amostra observada a cor, homogeneidade, odor, brilho e qualidade do envelope, assim como a contagem de grãos partidos e sementes de ervas daninhas. Podem também ser descobertos defeitos nos grãos resultantes de condições meteorológicas adversas antes de terem sido cortados [6]. Outros testes importantes e rápidos de concretizar são referidos de seguida:

- **Capacidade germinativa:** Determina a percentagem de grãos vivos numa amostra de cevada [31].
- **Energia germinativa:** Determina a percentagem de grãos que se espera que germinem completamente nesse fabrico [30].
- **Humidade:** Na cevada, quanto maior o teor de água, maior será a perda de respiração. Grãos com um teor superior a 5% têm de ser submetidos a uma secagem complementar. A humidade pode afetar a qualidade do grão assim como a sua capacidade germinativa [6] [30].
- **Teor de proteína:** Deve variar entre 9,5-10% (isento de água), dando melhor estabilidade coloidal à cerveja. Valores mais baixos resultam numa estabilidade reduzida de espuma, corpo ou “*flavour*”. No entanto, o teor pode variar entre 10-11% para cervejas mais brilhantes (do tipo *Pilsen*), assim como na faixa dos 11-12% são apropriadas para cervejas em que se usam maltes escuros (Malte Munique) [6]. Cevada com elevado teor de proteína resulta num baixo extrato, assim como um baixo teor das mesmas origina a falta de enzimas necessárias para que se dê a modificação do grão [30].
- **Pureza da espécie:** Critério determinado após a triagem da amostra, devendo o diâmetro dos grãos estar compreendido entre 2,2-2,5 mm [6].

1.4.1.2 Análises no malte

As especificações físico-químicas das principais análises efetuadas ao malte *Pilsen* foram indicadas anteriormente na Tabela 1.2. A importância destas análises prende-se com o facto de estas permitirem garantir a qualidade e cumprimento dos limites de especificação do produto final. Os testes indispensáveis realizados nas instalações Unicer Bebidas S.A. são:

- **Humidade:** Calculada a partir da massa perdida durante a secagem de uma amostra de malte moído, que corresponderá à massa de água na amostra. Alternativamente, pode ser determinado através do uso de uma termobalança que, através de um programa de aquecimento controlado, faz evaporar a água contida no grão [7].
- **Cor do mosto:** A cor é determinada através da cor do mosto do malte [7] (Figura 1.22). Uma pequena amostra é recolhida para determinar a cor no espectrofotómetro ou num aparelho comparador de cor (*Lovibond, 2000*).



Figura 1.22 - Filtração do mosto de diferentes tipos de malte, através de funis com filtros de pregas.

- **Extrato:** É determinado a partir do extrato do mosto obtido de uma amostra de malte, após a etapa da filtração [6] [7].
- **Triagem:** Determina o tamanho e uniformidade dos grãos, assim como de grãos partidos e material estranho [7].
- **Modificação e homogeneidade:** As paredes celulares do endosperma são marcadas colorimetricamente com o fluorocromo Calcofluor, o qual se liga especificamente a β -glucanos [7]. O contraste é efetuado com coloração *Fast Green* [33] (Figura 1.23).

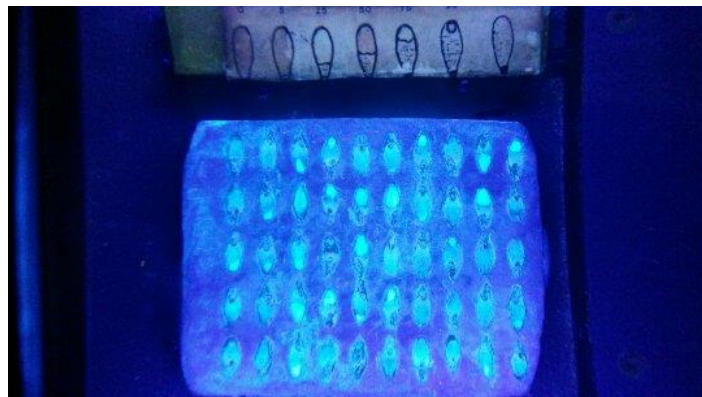


Figura 1.23- Sistema de fixação de grãos. Após a utilização de uma lixa, é exposto o endosperma amiláceo. O calcofluor liga-se às fibras da celulose e emite uma fluorescência forte, detetada por UV. As zonas não modificadas mostram uma cor azul pálida na luz UV.

- **β -glucanos:** A determinação do teor de β -glucanos de elevado peso molecular no mosto é conseguida através dos mesmos reagirem especificamente com o fluorocromo Calcofluor [7].
- **Friabilidade:** Índice que avalia a desagregação mecânica do malte (moagem), com o auxílio do friabilímetro (Figura 1.24). Quanto mais friável, mais modificado é o malte. Valores baixos correspondem a uma filtração lenta, problemas na brassagem e baixo rendimento [30] [31].

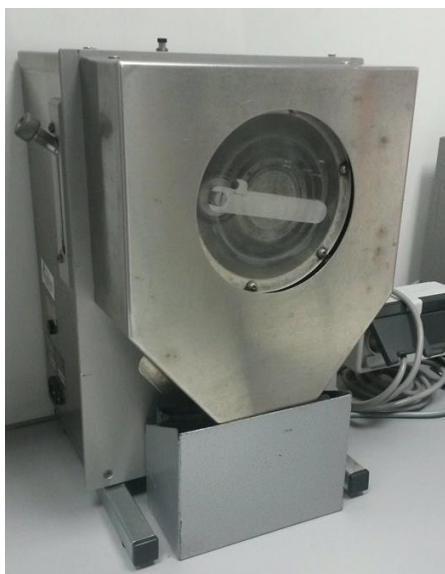


Figura 1.24 - Friabilímetro, que permite medir a friabilidade do malte.

- **Sacarificação:** Está relacionado com o tempo total de transformação do amido em açúcares simples. Um tempo superior ao padrão indica que houve destruição de enzimas durante a secagem do malte ou que ocorreu uma desagregação insuficiente (moagem). Grãos que não germinaram misturados no meio da amostra analisada contribuem para um valor mais baixo de sacarificação [6] [32].
- **FAN:** Corresponde ao teor de aminoácidos e péptidos do malte [7]. Na cerveja é necessária uma determinada quantidade de proteína, uma vez que são necessários certos níveis de FAN na nutrição da levedura. Os níveis de FAN no endosperma são mais elevados no malte do que na cevada, devido à hidrólise da matriz proteica que ocorre durante a modificação [6]. Um teor elevado de FAN na cerveja tende a produzir uma cor mais escura, devido às reações de Maillard. Assim sendo, os valores de FAN têm de ser apenas elevados o suficiente para assegurar que a falta de nutrientes azotados na levedura não limitam a fermentação [5].
- **Azoto total e azoto solúvel:** Indicam a quantidade de proteínas no malte. Valores mais baixos são indicativos do malte conter baixo teor de proteínas, o que pode desencadear problemas de espuma. Por outro lado, valores elevados originam baixos rendimentos na brassagem e problemas de estabilidade coloidal [32] [33].

1.4.2 Tipos de Malte

A maior parte das cervejas fabricadas no mundo são as claras, fazendo com que o malte claro (malte base) seja o que tem uma maior necessidade de se produzir. Desta maneira, uma grande parte das malterias existentes produz exclusivamente este tipo de malte. Por outro lado, cada vez mais diversos tipos de cerveja são criadas com diferenças consideráveis no sabor, cor, aroma e espuma. Para isso, diferentes tipos de malte têm de ser usados com a intenção de contribuírem para as particularidades dessas propriedades. Esses maltes são designados maltes especiais [1].

Os maltes especiais são usados numa pequena percentagem para adicionar cor, sabor e aroma a diferentes tipos de cerveja. A principal matéria-prima com que são preparados é também a cevada, com procedimentos nas etapas de molha e germinação semelhantes aos maltes base, mas com diferentes condições na etapa de estufagem. Como as temperaturas neste último patamar são significativamente maiores do que as temperaturas dos maltes claros, os maltes especiais têm mais baixos rendimentos de extrato e reduzido (ou ausente) poder enzimático [23]. Assim, alguns maltes não são produzidos por causa do seu conteúdo enzimático, mas sim para serem usados em quantidades relativamente pequenas como uma fonte de cor adicional e com tipos de sabor distintos. Os diferentes tipos de maltes podem também ser fontes úteis de antioxidantes naturais. De facto, tem-se assistido a um maior interesse nesses produtos para serem formados diferentes estilos de cerveja [22]. A cor, o extrato e a humidade são as principais análises realizadas a estes maltes [14].

1.4.2.1 Maltes Base

1. Malte *Pilsen*

O malte padrão utilizado como malte base em todos os tipos de cerveja é do tipo *Pilsen* pois, comparativamente aos restantes maltes, é o que resulta em menor cor e sabor, sendo muito útil na produção de cervejas em que características mais distintas sejam pretendidas [1]. A sua temperatura de secagem atinge um máximo de 80-85°C e a cor do mosto varia entre 2,5-3,5 EBC [32] [33].

2. Malte *Vienna*

Trata-se de um tipo de malte que é seco a temperaturas ligeiramente mais altas que o malte *Pilsen*. Como resultado, o malte *Vienna* proporciona uma cor dourada mais profunda à cerveja, tornando-a, ao mesmo tempo, mais encorpada. Pode ser usado como um malte especial, quando se pretende que a cor final da

cerveja seja ligeiramente superior à do malte *Pilsen*. Tem uma curta duração de “cura”, sendo a variação de 85-90°C, e a cor do mosto está entre 4-7 EBC. [33].

3. Malte *Pale Ale*

O malte *Pale Ale*, usado para produzir todos os tipos de cerveja, é geralmente combinado com malte *Pilsen* para produzir um sabor de malte mais forte e com uma cor adicional. Por ter uma cor mais intensa, este malte pode adicionar um tom dourado ao mosto. É efetuada uma secagem durante mais tempo, sendo mais modificado e proporcionando assim um sabor mais pronunciado do que o malte *Pilsen*. Tal como o malte do tipo *Vienna*, o malte *Pale Ale* pode ser usado como malte especial, se for necessário. O patamar de “cura” é compreendido entre 90-95°C, originando uma cor compreendida entre 7-10 EBC [32] [33].

1.4.2.2 Maltes Especiais

1. Malte Caramelo (Cristal)

A quebra enzimática no malte caramelo é aumentada nos dois últimos dias de germinação através de um ligeiro aumento na temperatura, provocando uma maior formação de açúcares. Deste modo, o grão ao ser submetido a um aumento de temperatura no patamar de “cura” faz com que o grão adquira uma textura caramelizada. De acordo com a cor desejada, as temperaturas podem variar entre 80°C e 180°C [23], produzindo-se diferentes categorias de malte caramelo, nomeadamente maltes *Carapils*, *Carared*, *Special W*, *Carawheat*, *Carahell*, entre outros [33].

- **Malte *Carapils***

No malte *Carapils* a humidade da superfície do grão é seca a 50°C antes de este ser submetido a um processo de secagem de 40 minutos a 100°C. De seguida, é aplicada a temperatura de cura a aproximadamente 100-120°C durante cerca de uma hora [22]. Também este tipo de malte melhora a formação e estabilidade da espuma, assim como o corpo da cerveja. A cor do mosto varia entre 2,5-6,5 EBC [33].

- **Malte *Carared***

O malte *Carared* é usado quando se pretende obter cervejas com uma cor castanha. Confere corpo, intensifica o aroma do malte e, se o pretendido for obter uma cor mais escura (avermelhada), aumenta-se a quantidade usada. Nesta categoria, por exemplo, a cor do mosto já varia entre 40-60 EBC [33].

2. Malte Munique

Este tipo de malte proporciona um aumento considerável na cor, próximo de um laranja e dourado, sendo muitas vezes usado com malte Pilsen para proporcionar uma cor mais rica. Afeta a estabilidade da espuma e o corpo da cerveja [33]. É conveniente que a cevada escolhida para produzir este tipo de malte apresente um nível mais elevado de proteínas (11-13%) e que a etapa de germinação seja mais intensa. O malte Munique pode ser dividido em Munique do tipo I ou do tipo II, estando a principal diferença relacionada com a cor. O malte Munique do tipo I apresenta uma cor compreendida entre 15-20 EBC e o Munique do tipo II entre 20-25 EBC. A temperatura de cura é próxima de 105°C, podendo sofrer pequenas alterações [23].

3. Malte Chocolate

O malte Chocolate é considerado um malte torrado, que fornece um sabor seco e tostado às cervejas escuras. É usado para ajustar a cor e provocar um sabor torrado na cerveja, sendo a sua quantidade aplicada quase mínima (máximo de 7%) [33]. Mantém-se entre os 75-150°C durante uma hora e de seguida é torrado a 220°C, sendo rapidamente resfriado quando se obtém a cor desejada. [22]. É semelhante ao malte *Black*, mas é menos amargo e mais claro, por ser submetido a uma temperatura e um período de tempo ligeiramente menores [33]. A cor do mosto varia entre 900-1100 EBC [32].

4. Malte Black

O malte *Black* corresponde ao malte especial mais escuro, produzindo um sabor levemente queimado ou defumado. O processo de secagem é semelhante ao malte chocolate, mas o programa de secagem é ainda mais intenso, podendo atingir os 230°C de “cura” [22]. No fim, obtém-se um grão com teor de humidade igual ou inferior a 2%. O referente malte pode atingir os 1300 EBC de cor do mosto [33].

2 Metodologia

2.1 Contextualização e objetivo da proposta de dissertação

O trabalho descrito na presente dissertação foi concretizado na IPM da Unicer Bebidas S.A., pertencente ao Departamento de Qualidade, Ambiente e Segurança. A IPM encontrava-se inativa, possibilitando o presente projeto ocupar as instalações para ser estudada a otimização energética aplicada à produção de malte *Pilsen*, assim como a tentativa de produção de maltes especiais. Note-se que os maltes especiais não foram testados nos últimos anos na Mini-malteria, e que os tipos de maltes que se tentaram produzir não tiveram sucesso.

Na produção de malte, a etapa de estufagem foi alterada em todos os ensaios por estar associada a maiores consumos energéticos, enquanto os programas de molha e germinação se mantiveram. Deste modo, uma poupança de energia nesta fase iria reduzir de forma significativa os consumos energéticos de produção de malte. O elevado consumo de energia na secagem está relacionado com o aumento gradual de temperatura a que o grão é submetido, assim como os recursos utilizados para garantir que um elevado volume de ar atravessasse todas as camadas de malte. Deste modo, é assegurada a redução do teor de humidade no produto final, passando de valores superiores a 40% no fim da etapa de germinação para valores inferiores a 5%. A passagem do ar através de todas as camadas do grão no interior do tanque é obtida com o recurso a ventoinhas de elevada capacidade, que possuem um elevado consumo de energia elétrica.

Há pequenas soluções evidentes que permitem alguma poupança de energia elétrica e térmica no processo de maltagem, como garantir um teor de humidade baixo no final da etapa de germinação, ficando o malte com menos água para ser removida e assim diminuir a duração da fase *pré-break* da estufagem (malte mais seco, sendo mais fácil atingir o patamar dos 55°C de temperatura de entrada). Um menor teor de humidade também faz com que os grãos absorvam menos quantidade de água e não aumentem tanto o seu volume, o que faz com que possam ser usadas maiores quantidades de cevada por fabrico e se reduza assim o número de ensaios. Na IPM foi testada anteriormente a redução da temperatura de “cura” da etapa de estufagem, dos 85°C *standard* para 75°C. No presente projeto a abordagem foi diferente, tendo-se mantido a temperatura de “cura” a 85°C, mas variando a temperatura de saída do tanque para o fim do aquecimento até um mínimo de 76°C. Esta alteração seria também uma hipótese para se comprovar a diminuição dos consumos energéticos.

Este projeto teve também como objetivo testar diferentes programas de temperatura com vista à produção de maltes especiais, tendo em consideração que

encomendá-los a malterias implica custos, podem ser elevados. Assim, pretendeu-se produzir maltes Caramelo, *Pale Ale* e *Pilsen* que poderiam ser utilizados diretamente na produção de cerveja das instalações da Mini-Fábrica, na Unicer.

Por último, foi proposta a realização de Procedimentos Operacionais *Standard* (POS) aos equipamentos da mini-malteria (Anexos), de modo a garantir futuramente o manuseio correto de cada um.

2.2 Ensaios de mini-maltagem

Para a concretização dos ensaios de mini-maltagem, foi usada cevada da variedade *Pewter*, adquirida através da Maltibérica – Sociedade Produtora de Malte, S.A.. Geralmente, eram recebidos quatro *big bags* de cada vez, e cada um dos *big bags* (Figura 2.1) variava o seu peso entre 1100-1250 kg de cevada, para os fabricos de malte realizados. Na Tabela 2.1 estão indicadas as características da cevada da variedade *Pewter*, usada nos ensaios de mini-maltagem.



Figura 2.1- *Big bag*, nas instalações da Mini-malteria, com 1100 kg de cevada.

Tabela 2.1 - Resultados das análises efetuadas na Maltibérica à cevada da variedade *Pewter*. Dados fornecidos pela empresa

Variedade	Origem	Humidade (%)	Proteína (%)	Triagem (%)				Capacidade germinativa (%)	Energia germinativa (%)	Sensibilidade à água (%)
				>2,8 mm	>2,5 mm	>2,2 mm	<2,2 mm			
<i>Pewter</i>	Portugal	9,6	10,7	51,5	36,8	9,8	1,8	100	98	2

2.3 Programas de mini-maltagem

O programa aplicado nas três fases de cada ensaio de malte *Pilsen* manteve-se igual para as etapas de molha e germinação, tendo-se alterado o de estufagem. A etapa de molha é constituída por duas fases húmidas intercaladas com duas fases

secas, terminando o processo na fase seca, de modo a facilitar a deslocação do grão através do transportador para o tanque de germinação/estufagem por estar mais seco. No total, a etapa da molha nos diferentes ensaios teve a duração de 43 horas, ou seja, 7 horas de fase húmida seguidas de 12 horas de fase seca mais 6 horas de fase húmida e 18 horas de fase seca (Tabela 2.2).

Tabela 2.2- Parâmetros utilizados no programa de molha. Na fase seca, os 300 minutos significam que durante essas primeiras 5 horas a extração de CO₂ está 15 minutos ativa e 45 minutos inativa, no restante tempo da fase a extração é contínua

Massa inicial de água no tanque antes de colocar a cevada (kg)	1000	
Fase Húmida	1ª Fase	2ª Fase
Duração (h)	7	6
Temperatura da água de enchimento do tanque (°C)	15	15
Nível de água no tanque para o início do arejamento (%)	90	70
Remoção de sobrenadantes		
Nível de água no tanque para remoção (%)	105	0
Tempo de arejamento antes da remoção (min)	10	0
Tempo de repouso até ao início da remoção (min)	30	0
Tempo da remoção (min)	10	0
Tempo até ao início do arejamento após a remoção (min)	10	10
Arejamento ativo por hora (min)	10	10
Arejamento inativo por hora (min)	50	50
Temperatura do ar para o arejamento (°C)	16	16
Fase Seca	1ª Fase	2ª Fase
Duração (h)	12	18
Tempo de arejamento antes de esvaziar a água do tanque (min)	10	10
Tempo até ao início da extração de CO ₂ (min)	60	10
Extração de CO ₂ ativa por hora (min)	15	0
Extração de CO ₂ inativa por hora (min)	45	0
Tempo de extração de CO ₂ (min)	300	0
Velocidade de extração de CO ₂ (%)	60	0
Temperatura do ar de entrada (°C)	16	16
Temperatura do ar de saída (°C)	17	17

Relativamente à fase de germinação, o programa (Tabela 2.3) manteve-se quase idêntico em todos os fabricos de malte *Pilsen*, sendo alterado o parâmetro da temperatura quando se verificavam desvios ao crescimento natural do grão. Devido às condições climáticas (por exemplo, nos meses com temperaturas mais baixas que não aquecem o ar de entrada o suficiente), a temperatura que se programa poderá não corresponder à temperatura real que está a entrar no tanque. Assim, a taxa de modificação do grão resulta, para além da massa de cevada inicial e da própria variedade da cevada, da temperatura e humidade do ar que entra dentro do tanque durante o processo. Por se tratar de uma etapa que varia em cada fabrico, eram

necessárias alterações no programa ao longo do processo, diminuindo-se a temperatura de entrada quando o grão germinava em demasia ou aumentando-se o parâmetro quando o grão não crescia o que era suposto.

Tabela 2.3- Parâmetros utilizados no programa de germinação. O intervalo entre voltas do girador é referente ao revolvimento do grão durante a germinação. A abertura da válvula do fundo do tanque permite que o excesso de água no interior do tanque seja removido

Passo	1	2	3	4	5
Tempo no passo (h)	24	24	24	24	24*
Temperatura do ar de entrada (°C)	15	15	15	15*	15*
Variação de temperatura entre a parte superior e inferior do tanque (°C)	2	2	2	2	2
Recirculação do ar (%)	50	60	70	80	90
Velocidade da rotação do girador durante a carga do tanque (m/min)	0,6				
Velocidade da rotação do girador durante a descarga do tanque (m/min)	0,6				
Velocidade de rotação do girador sem ou com chuveiros (m/min)	0,3				
Intervalo entre voltas do girador no decorrer da germinação (h)	12				
Abertura da válvula do fundo do tanque (h)	1 em 1				

*Valores que podem ser alterados durante o passo em questão no programa, consoante o estado de crescimento do grão.

O revolvimento do grão referido (Tabela 2.3) durante a germinação permite tornar o grão do interior do tanque mais homogêneo. A aspersão posicionada entre os agitadores não é programada, sendo apenas ligada quando ocorre a necessidade de se aumentar o teor de umidade no grão. Geralmente, a etapa da germinação teve a duração de 5 dias.

No que diz respeito ao programa utilizado para a etapa de estufagem (Tabela 2.4) do fabrico de malte *Pilsen*, manteve-se igual para todos os ensaios à exceção da fase de “cura”, em que se alterou a temperatura para finalizar o aquecimento e, consequentemente, o tempo. O tempo da estufagem variou entre 14h-18h30.

Tabela 2.4- Parâmetros utilizados no programa de estufagem. Note-se que o passo 2 apenas se inicia quando a temperatura do ar que sai do tanque atinge os 45°C

Passo	1	2	3	4	5	6	7
Tempo no passo (h)	2*	2	1	2	1	1	6*
Temperatura do ar de entrada (°C)	55	62	65	68	73	78	85
Temperatura do ar de saída para iniciar o passo 2 (°C)	45						
Velocidade da ventoinha (%)	100	100	100	100	100	100	100
Temperatura para se iniciar a recirculação do ar de saída (°C)	60						
Recirculação máxima (%)	70						
Tempo para realizar a recirculação máxima (h)	5						
Temperatura para finalizar o aquecimento (°C)	76/ 78/ 80/ 82 **						
Tempo para finalizar o aquecimento (h)	1						
Temperatura para o arrefecimento (°C)	35						

Velocidade da ventilação durante o arrefecimento (%)	100
--	-----

*A duração mínima do passo 1 é de 2 horas, correspondendo à fase *pré-break* da estufagem; a duração máxima do passo 7 é de 6 horas, correspondendo esse último passo à temperatura de “cura”.

**Temperaturas para finalizar o aquecimento a que se submeteu cada ensaio.

2.4 Análises ao malte

Como referido anteriormente, é de uma importância extrema efetuar análises de controlo da qualidade do malte para cada um dos ensaios realizados, de modo a garantir que as especificações são cumpridas. As principais análises indicativas da degradação citolítica do endosperma estão relacionadas com a determinação da friabilidade, modificação e teor de β -glucanos no mosto; as que permitem avaliar a degradação do amido (amilólise) correspondem à determinação do teor de extrato e à atividade das enzimas α - e β -amilase; por fim, a degradação proteica (proteólise) é representada pela determinação do teor de FAN no mosto. Análises à humidade, triagem, pH do mosto e homogeneidade no malte foram também realizadas.

➤ Friabilidade

A concretização desta análise teve como base o método 4.15 da *Analytica EBC*, e o cálculo da friabilidade da amostra foi determinado pela fórmula:

$$\text{Friabilidade (\%)} = 100 - (2.A)$$

onde A representa a massa final, em gramas, da fração de grãos de malte retida no interior do tambor do friabilímetro.

➤ Modificação

Na verificação da modificação do malte usou-se o método 4.14 da *Analytica EBC*, em que 100 grãos são classificados de acordo com a percentagem de modificação de cada um. Assim, essa divisão e respetiva fórmula são expressas da seguinte forma:

- “0”: 0 – 5%
- “1”: 5 – 25%
- “2”: 25 – 50%
- “3”: 50 – 75%
- “4”: 75 – 95%
- “5”: 95 – 100%

$$\text{Modificação (\%)} = 0."0" + 0,125."1" + 0,375."2" + 0,625."3" + 0,875."4" + 1."5",$$

onde “0” corresponde aos grãos menos ou não modificados e “5” aos mais modificados.

➤ Teor de β-glucanos

Esta análise foi realizada por técnicos superiores do laboratório da Unicer Bebidas S.A., tendo-se usado o método 8.13.2 da *Analytica EBC* para determinar o teor de β-glucanos de elevado peso molecular no mosto, através da seguinte fórmula:

$$\text{Teor de } \beta - \text{glucanos} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = (A \times F + B) \times D$$

em que A representa o declive da reta de regressão, em mg/L por unidade de fluorescência; F o valor da fluorescência da amostra; B a interceção da reta de calibração, em mg/L; por fim, D o fator de diluição.

➤ Extrato

O extrato do malte é determinado com base no método 4.5.1 da *Analytica EBC*, através de um processo composto por três etapas, nomeadamente, brassagem, filtração do mosto e determinação do extrato no aparelho *Anton-Paar*. O cálculo do extrato é dado por:

$$E_1 \left(\% \frac{m}{m} \right) = \frac{P(M + 800)}{100 - P}$$

$$E_2 \left(\% \frac{m}{m} \right) = \frac{P(M + 800)}{100 - M}$$

E_1 é relativo ao teor de extrato da amostra (% m/m), E_2 corresponde ao teor de extrato do malte seco (% m/m), P é o teor de extrato aparente do mosto (% m/m), M diz respeito ao teor de humidade do malte (% m/m) e o valor 800 representa a quantidade de água destilada (mL) que é adicionada ao mosto não filtrado, para 100g de malte.

➤ pH

O pH do malte é também determinado com base no método 4.5.1 da *Analytica EBC*, aplicado à determinação do teor de extrato. O mosto filtrado que é colocado no aparelho *Anton-Paar* fornece simultaneamente dados relativos ao extrato do malte e ao pH do mosto.

➤ Atividade das enzimas α- e β-amilase

Os métodos enzimáticos que permitiram determinar a atividade da α- e β-amilase foram preparados através de kits da *Magazyme*, nomeadamente, *Ceralpha* e *Betamyl-3*.

A atividade da α -amilase foi determinada pela fórmula:

$$\begin{aligned} & \text{Atividade da } \alpha - \text{amilase} \left(\frac{UC}{g} \right) \\ &= \frac{\Delta E_{400}}{\text{tempo de incubação}} \cdot \frac{\text{Volume total na célula}}{\text{Alíquota da amostra}} \cdot \frac{1}{E_{mM}} \cdot \frac{\text{Volume de extração}}{\text{massa da amostra}} \cdot \text{Diluição} \end{aligned}$$

UC representa unidades *Ceralpha*. O espectrofotómetro é programado para fazer a leitura a 400 nm. O valor obtido através deste comprimento de onda é calculado através da expressão $\Delta E_{400} = \text{Abs}_{\text{amostra}} - \text{Abs}_{\text{branco}}$. Sabe-se que o tempo de incubação é 10 minutos, o volume total na célula é 3,4 mL, a alíquota da amostra é 0,2 mL, o E_{mM} do *p*-nitrofenol a 400 nm em 1% fosfato de tri-sódio é 18,1, o volume de extração é 5 mL, a massa da amostra é 0,5g e a diluição é 336x.

Na atividade da β -amilase utiliza-se o mesmo cálculo:

$$\begin{aligned} & \text{Atividade da } \beta - \text{amilase} \left(\frac{UC}{g} \right) \\ &= \frac{\Delta E_{400}}{\text{tempo de incubação}} \cdot \frac{\text{Volume total na célula}}{\text{Alíquota da amostra}} \cdot \frac{1}{E_{mM}} \cdot \frac{\text{Volume de extração}}{\text{massa da amostra}} \cdot \text{Diluição} \end{aligned}$$

As alterações, relativamente à enzima α -amilase, são o E_{mM} do *p*-nitrofenol a 400 nm em base Trizma 1% (cujo valor se mantém a 18,1) e a diluição ser 21x.

➤ Teor de azoto aminado livre

Esta atividade foi realizada por técnicos superiores do laboratório da Unicer Bebidas S.A., através do método 4.10 da *Analytica EBC*. Na amostra, o teor de FAN no mosto obteve-se através do cálculo:

$$FAN \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(Abs_1 - Abs_b) \cdot 2 \cdot d}{Abs_2 - Abs_b}$$

Abs_1 , diz respeito à absorvância da amostra de mosto diluído a 570 nm, Abs_2 à absorvância da solução padrão de glicina a 570 nm, A_b é relativa à absorvância do branco a 570 nm e d representa o fator de diluição, 1:100.

➤ Teor de Humidade

Para realizar esta análise foi utilizado o método 4.2 da *Analytica EBC*. O cálculo do teor de humidade da amostra de malte a analisar é dado pela seguinte fórmula:

$$\text{Teor de humidade (\%)} = \frac{m_1(g) - m_2(g)}{m_1(g) - m_0(g)}$$

em que m_0 representa a massa do prato de alumínio vazio, m_1 a massa do prato com amostra antes da secagem e m_2 a massa do prato com amostra depois da secagem.

➤ **Triagem**

Esta análise foi efetuada com base no método 3.11.1 da *Analytica EBC*. A triagem dos grãos foi efetuada com base no tamanho dos grãos, através de três peneiras com ranhuras de diferentes larguras posicionadas sobre um aparelho de agitação, e classificados em >2,8 mm, >2,5 mm, >2,2 mm e <2,2 mm.

➤ **Homogeneidade**

Na determinação da homogeneidade, semelhante à análise da modificação do malte, foi também usado o método 4.14 da *Analytica EBC*, com uma alteração na fórmula:

$$\text{Homogeneidade (\%)} = 100 - 2\sqrt{100A - M^2}$$

onde, $A = 0^2 \cdot "0" + 0,125^2 \cdot "1" + 0,375^2 \cdot "2" + 0,625^2 \cdot "3" + 0,875^2 \cdot "4" + 1^2 \cdot "5"$ e M corresponde à percentagem de modificação do grão.

2.4.1 Reagentes

Os reagentes usados para a determinação do FAN no malte foram adquiridos à *Merck* (Alemanha); os utilizados para a modificação e homogeneidade do malte foram os *Fluorescent Brightener 28* e o *Fast Green*, comprados à *Sigma* (EUA) e as placas de cernite que permitiram fixar os grãos foram fabricadas pela *Staedtler* (Alemanha). Na análise de determinação do teor de β -glucanos, as soluções foram adquiridas à *Skandinavisk Bryggeri Laboratorium* (Dinamarca). Por último, os reagentes e soluções usados para se determinar a atividade da α - e β -amilase foram comprados à *Megazyme* (Irlanda), na forma de *kits* enzimáticos.

3 Análise dos resultados e discussão

3.1 Avaliação dos consumos energéticos na produção de maltes base

3.1.1 Ensaio realizados

Neste projeto, foi realizado um programa de otimização com quatro variantes que permitiram estudar os consumos elétricos e de vapor. Tal como referido anteriormente, os estudos desses consumos foram efetuados na etapa de estufagem, por estarem associados a esta etapa elevados gastos de energia. Foram realizados quatro fabricos, nos quais se pretendeu alterar o procedimento utilizado no patamar da temperatura de “cura” da produção de malte *Pilsen*. Assim, a temperatura do ar de entrada manteve-se em todos os ensaios a 85°C e a temperatura para finalizar o aquecimento sofreu alterações. No primeiro ensaio utilizou-se a temperatura de 76°C para o fim do aquecimento, no segundo 78°C, no terceiro 80°C e no quarto ensaio 82°C. Note-se que o ensaio de 82°C funcionou como um ensaio de referência, por se usar essa temperatura no fabrico de malte *Pilsen* (Tabela 3.1).

Inicialmente, previam-se alterações nos parâmetros cor e humidade. Nas restantes análises, com a variação da temperatura, não se previam impactos para os diferentes parâmetros da qualidade do malte.

Temperatura Saída (°C)	Massa cevada inicial (kg)	<i>Chitting</i> (%)
76	1190	94
78	1260	98
80		98
82	1100	97

Tabela 3.1 – Valores da temperatura de saída, massa da cevada inicial e percentagem de *Chitting* para os quatro fabricos

No processo de maltagem, a massa de cevada com que se inicia o fabrico é um importante fator, sendo influente nas conclusões retiradas do fabrico. A percentagem de *chitting* no final da etapa da molha é também necessária para se perceber se o programa é eficaz, sendo a percentagem mínima considerada aceitável 80%. Ambos os fatores estão indicados na Tabela 3.1. Os valores de *chitting* alcançados estão bastante aceitáveis. Note-se que o ensaio de 80°C não contém na tabela o valor da massa inicial de cevada, devido a problemas com o equipamento de pesagem.

Dos dados mais importantes a reter da etapa de germinação, fazem parte a duração da fase, o teor de humidade do malte verde e a germinação do grão no fim do processo. Esses valores estão representados na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Valores da temperatura de saída, tempo da fase de germinação, germinação do grão e humidade do malte verde para os quatro fabricos

Temperatura Saída (°C)	Tempo fase germinação (h)	Germinação (%)	Humidade malte verde (%)
76	111	79	41,41
78	122	122	45,89
80	120	78	41,89
82	121	97	42,29

Verifica-se, através da observação da Tabela 3.2, que o ensaio de 78°C foi o mais longo (122h), o que teve maior germinação do grão (122%) e com um maior teor de humidade (45,89%). É de referir que nos diferentes ensaios, a adição de água no decorrer da germinação é efetuada manualmente quando é necessário, isto é, quando o grão não está a crescer de acordo com o esperado ou quando se pretende aumentar o teor de humidade para valores superiores a 43%. O teor de humidade do malte verde durante o processo terá de se manter, idealmente, entre 43-45%. A percentagem de germinação no final da etapa de germinação poderá variar entre 75-85%. Valores de germinação superiores a 85% originam alterações nas diferentes fases da etapa de estufagem, assim como desvios ao esperado nos resultados da avaliação final da qualidade do malte. É também possível perceber pela análise da Tabela 3.2 que os ensaios de 78°C e 82°C correspondem a uma percentagem de germinação acima do esperado.

Relativamente à etapa de estufagem, o programa foi idêntico para os quatro ensaios, à exceção do patamar da temperatura de “cura”. A duração das fases *pré-break* (fase em que a temperatura do ar de entrada é 55°C) e de “cura” dos quatro ensaios realizados estão apresentadas na Tabela 3.3.

Temperatura Saída (°C)	Tempo fase <i>pré-break</i> (h)	Tempo “cura” (h)	Tempo fase estufagem (h)
76	7	1,27	15,45
78	6	1,15	14,50
80	8,20	2,10	18,40
82	6,20	2,17	16,30

Tabela 3.3 - Valores da durabilidade da etapa de estufagem para os quatro fabricos (duração das fases *pré-break* e de “cura”)

3.1.2 Consumos energéticos

O estudo dos consumos energéticos da Mini-malteria tiveram de ser avaliados de modo indireto, uma vez que não existiam contadores instalados. Deste modo, para o estudo dos gastos de consumos de vapor, somaram-se a partir dos gráficos dos diferentes fabricos as áreas de diferentes patamares de temperatura em função do tempo. Por outras palavras, o referente consumo foi estimado a partir do cálculo das diferentes áreas abaixo da linha de vapor, representada nos gráficos da temperatura de estufagem em função do tempo. Relativamente ao cálculo da energia elétrica, teve-se como suporte a potência da ventoinha do tanque, conseguindo-se fazer uma estimativa do consumo da etapa de estufagem multiplicando a potência a que a ventoinha funcionou pelo tempo durante o qual se manteve a essa potência. Note-se que durante todo o processo, nos quatro ensaios, a ventoinha funcionou na sua capacidade máxima (100%, 10,3 kW), diminuindo a meio do processo (80%, 8,24 kW) e aumentando na parte final novamente para a sua capacidade máxima, que diz respeito à fase de aquecimento a que termina o processo.

Na análise dos gastos energéticos da estufagem, os fatores fundamentais a serem tidos em consideração corresponderam à massa inicial de cevada e ao teor de humidade do malte verde no final da germinação, por serem fatores influentes na duração da etapa de estufagem, daí ser importante considerar os consumos por massa de malte obtido.

Tabela 3.4 - Valores da massa de cevada inicial, humidade do malte verde, tempo da fase *pré-break*, tempo da “cura” e duração da etapa de estufagem, para os quatro ensaios

Temperatura Saída (°C)	Massa cevada inicial (kg)	Humidade malte verde (%)	Tempo fase <i>pré-break</i> (h)	Tempo “cura” (h)	Tempo fase estufagem (h)
76	1190	41,41	7	1,27	15,45
78	1260	45,89	6	1,15	14,50
80		41,89	8,20	2,10	18,40
82	1100	42,28	6,20	2,17	16,30

Para os ensaios realizados, seria de prever que quanto maior a temperatura de “cura”, maiores seriam os esforços elétricos e mecânicos da instalação. O raciocínio

serviria também para o aumento do tempo da temperatura de saída de cada fabrico. Com base nos valores observados na Tabela 3.4, previa-se que ensaios de 76°C e 80°C, por serem os que possuíam menor duração de estufagem, exibissem menores

Temperatura Saída (°C)	Massa cevada inicial (kg)	Humidade malte verde (%)	Tempo fase estufagem (h)	Consumo vapor (UA)	Consumo vapor/ massa cevada (UA/kg)
76	1190	41,41	15,45	436	0,37
78	1260	45,89	18,40	459	0,36
80		41,89	14,50	776,34	
82	1100	42,28	16,30	522,51	0,48

consumos de energia elétrica e de vapor, assim como os ensaios de 78°C e 82°C corresponderiam aos de maior consumo.

➤ Consumos de vapor

Tabela 3.5 – Valores relativos ao consumo de vapor nos quatro ensaios e a sua relação com os dados da massa de cevada inicial, humidade do malte verde e duração da etapa de estufagem (UA – Unidades Arbitrárias)

Previo-se que o ensaio de 82°C, por ser o ensaio de referência (programa usado para a produção de malte *Pilsen*, com temperatura de saída superior), corresponderia ao de maior consumo de vapor. Era também previsto que o valor da massa inicial interferisse nos resultados, pois quanto maior, maior a resistência ao ar quente que teria de atravessar as camadas do grão no interior do tanque e maior a quantidade de água que teria de ser removida.

Verificou-se, através da análise à Tabela 3.5, que o consumo de vapor do ensaio de 80°C foi muito elevado, comparativamente ao ensaio de 82°C. Tal facto poderá estar relacionado com o ensaio ter sido realizado na primeira semana do mês de Março e a temperatura ambiente estar bastante baixa, fazendo com que o ar de entrada no permutador entrasse muito mais frio, criando assim uma inflexão neste valor. Em consequência, a fase *pré-break* (Tabela 3.4) foi prolongada (8,20h), sendo superior aos restantes ensaios. Também foi possível observar nos gráficos de estufagem apresentados no autómato das instalações que nas mudanças de um patamar de temperatura inferior para um superior os gastos de vapor eram mais elevados no ensaio de 80°C do que no ensaio de 82°C.

Os ensaios de 76°C e 78°C decorreram conforme o esperado, tendo obviamente o de temperatura de saída 76°C menor consumo de vapor. Com a Tabela 3.5 confirmaram-se poupanças (por kg de cevada maltada) significativas do consumo de vapor dos ensaios de 76°C e 78°C para o ensaio de 82°C (23% do ensaio de 76°C para o de 82°C e 25% do ensaio de 78°C para o de 82°C).

Observou-se na Figura 3.1 uma tendência entre os três pontos no consumo da ventoinha/ massa da cevada, sendo essa tendência mais alta no ensaio de 82°C. O ensaio de 80°C, por falta de dados, foi excluído da representação gráfica. A tendência observada com o aumento da temperatura de saída era expectável.

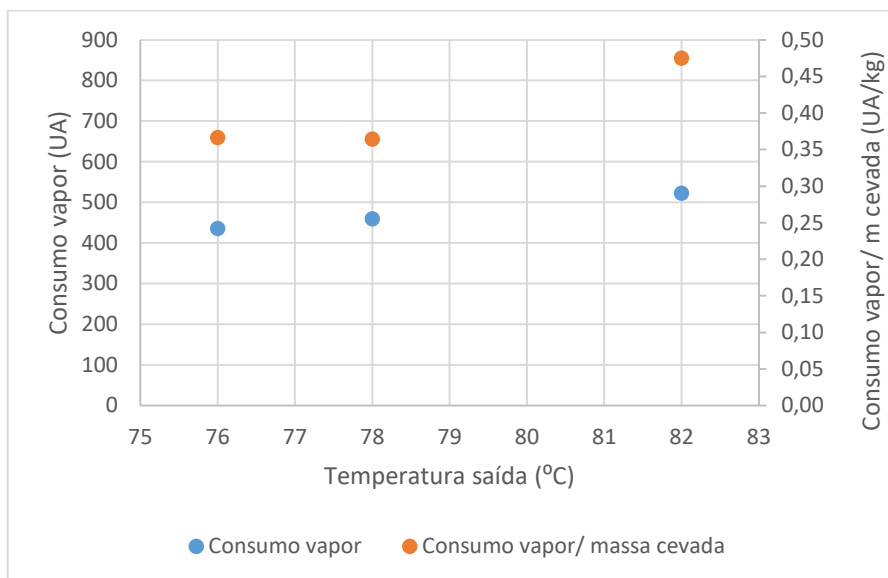


Figura 3.1 – Gráfico que apresenta a relação da temperatura de saída dos quatro ensaios com o consumo de vapor e o consumo de vapor/ massa da cevada.

➤ Consumos elétricos

Tabela 3.6 - Valores relativos aos consumos elétricos nos quatro ensaios e a sua relação com os dados da massa de cevada inicial e humidade do malte verde

Temperatura Saída (°C)	Massa cevada inicial (kg)	Humidade malte verde (%)	Energia elétrica (kWh)	Energia elétrica/ massa cevada (kWh/kg)
76	1190	41,41	146,72	0,12
78	1260	45,89	132,77	0,11
80		41,89	163,27	
82	1100	42,28	151,32	0,14

Seguindo o mesmo padrão dos consumos de vapor, seria de esperar que quanto maior o tempo de temperatura de “cura” de cada ensaio, maiores seriam os consumos elétricos. Através da análise da Tabela 3.6, percebeu-se que o ensaio de 80°C continuou a ser, ao contrário do esperado, o que exibiu maior consumo de energia elétrica. Não pareceram existir poupanças significativas no consumo de energia elétrica entre os ensaios de 76°C e 78°C (0,11 e 0,12 kWh/kg), no entanto, relativamente ao gasto de eletricidade do ensaio de 82°C, a poupança (por kg de

cevada maltada) foi de aproximadamente 15% no ensaio de 76°C e cerca de 20% no ensaio de 78°C.

No gráfico da Figura 3.2 já não se verificou a tendência do gráfico dos consumos de vapor (Figura 3.1), isto é, apenas se confirmou uma certa tendência entre o ensaio de 76°C e o de 82°C, estando o ponto do ensaio 78°C deslocado do suposto.

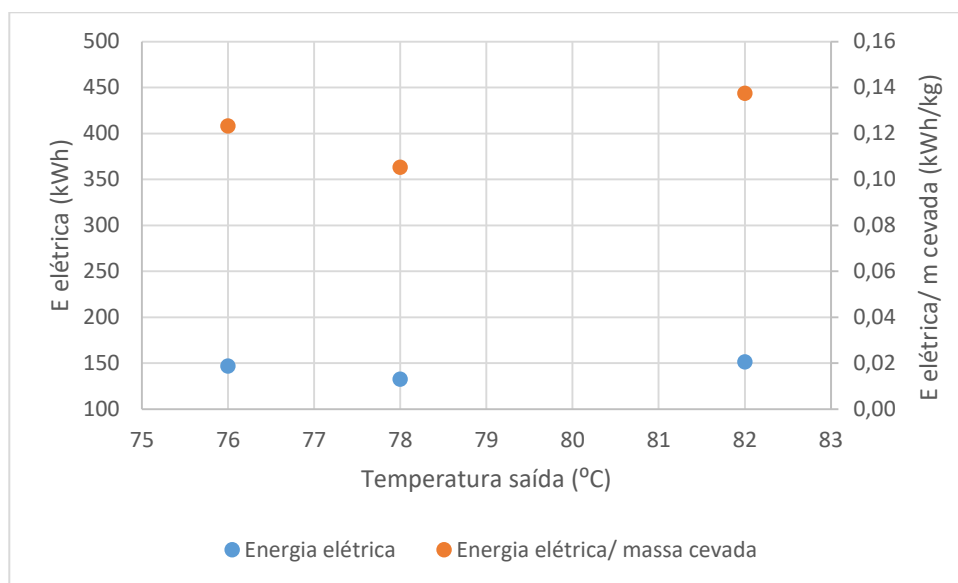


Figura 3.2 - Gráfico que apresenta a relação da temperatura de saída dos quatro ensaios com o consumo de energia elétrica e o consumo de energia elétrica/ massa da cevada.

3.1.3 Parâmetros da qualidade do malte

Apesar do principal objetivo do trabalho corresponder à otimização energética da produção de malte, é necessária a realização de análises de controlo específicas, de modo a garantir a qualidade e cumprimento dos limites de especificação respetivos. Assim, serão indicados os resultados das principais análises efetuadas ao malte (teor de humidade e cor). Para complementar o estudo, foram ainda concretizadas análises ao pH, análises relacionadas com a modificação citolítica (friabilidade, modificação e teor de β -glucanos), modificação proteolítica (FAN) e modificação amilolítica (extrato e atividades da α - e β -amilase).

➤ Humidade

Tabela 3.7 – Valores da humidade do malte final nos quatro ensaios e a sua relação com o teor de humidade do malte verde, tempo da fase de “cura” e tempo na fase de estufagem

Temperatura Saída (°C)	Tempo fase “cura” (h)	Tempo fase estufagem (h)	Humidade malte final (%)
---------------------------	-----------------------	--------------------------	--------------------------

76	1,27	16,15	4,8
78	1,15	14,00	4,6
80	2,10	18,30	4,4
82	2,17	16,30	4,7

Nos diferentes ensaios, seria evidente o teor de humidade do malte final diminuir à medida que se aumentaria a temperatura de saída em cada ensaio. Previam-se então que o ensaio de 76°C fosse o que apresentava um teor de humidade superior e o ensaio de 82°C uma percentagem de humidade inferior. Contudo, verificou-se na Figura 3.3 uma tendência nos resultados dos ensaios 76°C, 78°C e 80°C, como seria de esperar, mas a presença de um desvio no ensaio de 82°C que não era suposto. No entanto, observando-se os dados da Tabela 3.7 percebe-se que os valores do teor de humidade final para os diferentes ensaios não têm um grande impacto na qualidade do malte, por serem apenas pequenas variações nos resultados. Conclui-se que estas temperaturas de saída são suficientes para a secagem do grão, uma vez que os quatro ensaios cumprem o limite superior específico ($LSE \leq 5\%$).

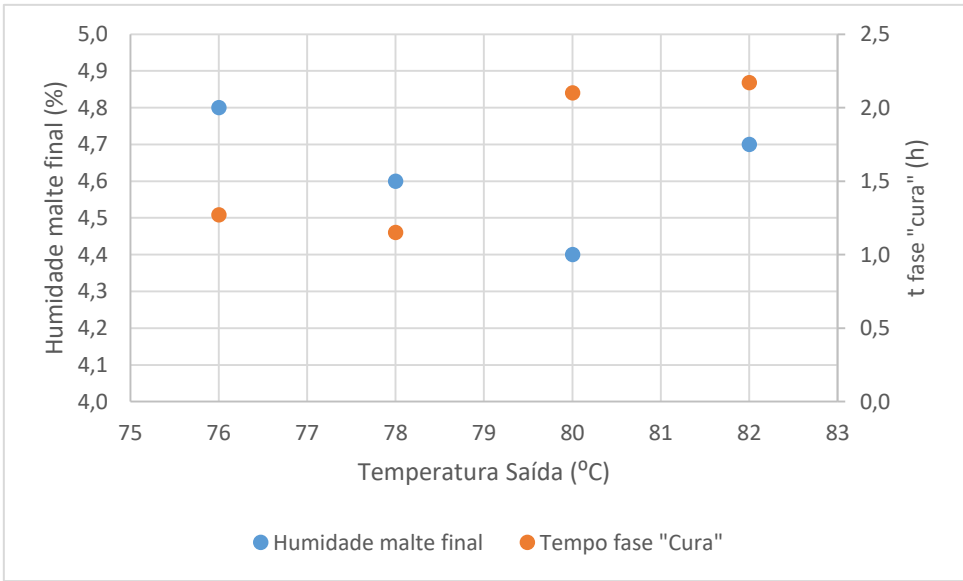


Figura 3.3 - Gráfico que apresenta a relação da temperatura de saída dos quatro ensaios com a humidade do malte final e o respetivo tempo na fase de “cura”.

➤ Cor do mosto

Tabela 3.8 – Valores da modificação do grão e cor nos quatro ensaios e a sua relação com os dados da germinação do grão, tempo da fase de estufagem e tempo da “cura”

Temperatura Saída (°C)	Germinação (%)	Tempo fase estufagem (h)	Tempo fase "cura" (h)	Modificação (%)	Cor (EBC)	Cor Lovibond (EBC)
------------------------	----------------	--------------------------	-----------------------	-----------------	-----------	--------------------

76	79	16,15	1,27	92,88	4,1	3,2
78	122	14,00	1,15	94,25	5,4	4,0
80	78	18,30	2,10	91,25	4,6	3,5
82	97	16,30	2,17	84,00	4,5	4,0

Tal como foi referido, acima dos 80°C, produtos de degradação de baixo peso molecular (açúcares e aminoácidos) reagem através de reações de Maillard, originando compostos responsáveis por conferir cor e aromas característicos ao malte. Assim, a formação de melanoidinas através dessas reações determinam a cor do malte, sendo que quanto mais melanoidinas se formarem, mais escuro será o malte. Será previsto a cor não ter uma alteração significativa nos quatro ensaios. A percentagem de modificação está diretamente relacionada com a cor (quanto mais modificado o grão, mais cor no final irá obter, e vice-versa).

Apesar de ter sido analisado o parâmetro da cor num espectrofotómetro e num aparelho comparador de cor, será apenas considerada no estudo a análise espectrofotométrica. Nos diferentes ensaios, é de esperar que aumentando a temperatura de saída da fase de “cura” e um consequente aumento do tempo nessa mesma fase provoque um aumento na cor do malte.

Verifica-se, através da análise da Tabela 3.8, um aumento gradual de cor entre o ensaio de 76°C e o ensaio de 80°C (4,1 EBC e 4,6 EBC), derivado do aumento do tempo no patamar da temperatura de “cura” (1,27h e 2,10h) e, como consequência, da etapa de estufagem (16,15 h e 18,30h). A justificação para não ser observada uma sequência na Figura 3.4 entre os ensaios de 76°C e 82°C está relacionada com a percentagem de modificação do grão dos ensaios de 78°C e 82°C (94,25% e 84,00%, respetivamente) (Tabela 3.8), que fez com que o grão do ensaio de 78°C ficasse modificado demais e o ensaio de 82°C não atingisse a modificação pretendida. No entanto, as diferenças de cor entre os ensaios não são significativas, não tendo variado muito como seria de esperar.

Não afeta a qualidade do malte a cor do mosto dos quatro ensaios estar ligeiramente acima do valor específico ($LSE \leq 4$ EBC), sendo possível a validação deste método e tendo apenas especial cuidado para o grão não crescer demasiado.

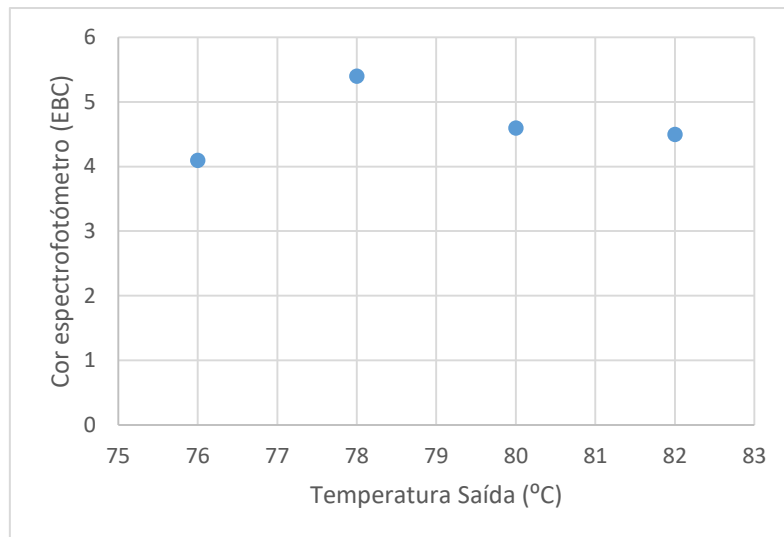


Figura 3.4 - Gráfico que relaciona a temperatura de saída dos quatro ensaios com a cor espectrofotométrica final do malte.

➤ pH do mosto

Tabela 3.9 - Valores do pH nos quatro ensaios e a sua relação com a temperatura de saída.

Temperatura Saída (°C)	pH
76	6,12
78	6,00
80	6,01
82	6,15

Dos valores de pH obtidos nos quatro ensaios é apenas de realçar que se observa, através da Tabela 3.9, que todos cumprem o limite de especificação ($LIE \geq 5,8$).

A. Análises relacionadas com a degradação citolítica

➤ Friabilidade

Tabela 3.10 – Análise relativa à friabilidade e a sua relação com a germinação, teor de humidade do malte verde, tempo na fase de germinação e tempo da fase *pré-break*

Temperatura Saída (°C)	Germinação (%)	Humidade malte verde (%)	Tempo fase germinação (h)	Tempo fase <i>pré-break</i> (h)	Friabilidade (%)
76	79	41,41	111	7	92
78	122	45,89	122	6	94
80	78	41,89	120	8,20	94
82	97	42,29	121	6,20	90

Em relação ao parâmetro da friabilidade, não devem existir diferenças significativas entre este e o parâmetro da modificação.

É de destacar, com base na análise da Tabela 3.10, que apenas o malte do ensaio de 82°C é que manifesta menor friabilidade (e menor modificação, Tabela 3.11), eventualmente por ser dos que tem uma menor duração de fase *pré-break* (cerca de 6 horas e 20 minutos). Note-se que a redução da fase *pré-break* permite limitar a modificação do malte, que ainda ocorre na fase final da estufagem. No início da fase *pré-break*, com temperaturas compreendidas entre 30°C e 40°C e teores de humidade superiores a 40%, as condições são ótimas para a atividade enzimática, incluindo enzimas hidrolíticas (como a α - e β - amílase) e outras enzimas diastásicas [34].

O ensaio de 78°C foi o que exibiu uma maior friabilidade, por ter tido uma germinação mais longa e sendo o que no fim sofreu maior grau de modificação.

Relacionando o parâmetro da friabilidade com as temperaturas de saída dos quatro ensaios (Figura 3.5), não se prevê que a temperatura tenha impacto com esse parâmetro, partindo-se do princípio que os valores obtidos sejam praticamente iguais em todos os ensaios. Os valores de friabilidade demonstram cumprir as especificações (LIE=80-95%).

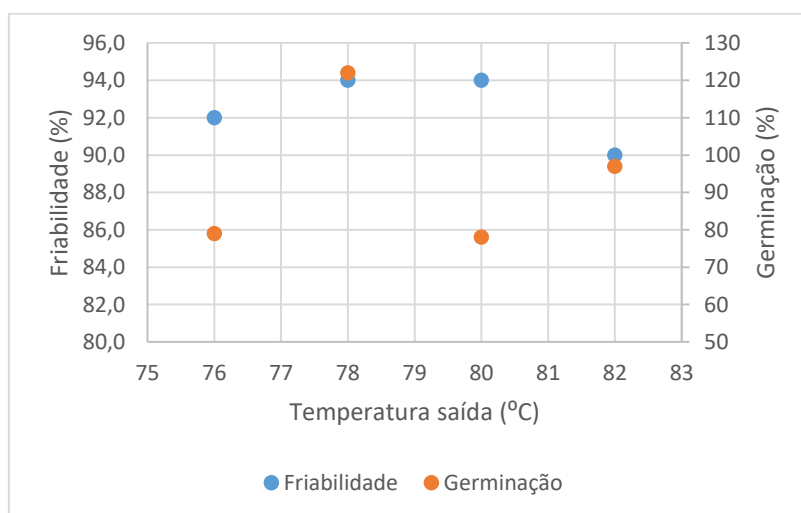


Figura 3.5 - Gráfico que apresenta a relação da temperatura de saída dos quatro ensaios com a friabilidade do malte final e a percentagem de germinação do grão.

➤ **Modificação**

Tabela 3.11 – Análise relativa à modificação e a sua relação com a germinação, teor de humidade do malte verde, tempo na fase de germinação e tempo da fase *pré-break*

Temperatura Saída (°C)	Germinação (%)	Humidade malte verde (%)	Tempo fase germinação (h)	Tempo fase <i>pré-break</i> (h)	Modificação (%)
76	79	41,41	111	7	92,88
78	122	45,89	122	6	94,25
80	78	41,89	120	8,20	91,25
82	97	42,29	121	6,20	84,00

Neste parâmetro, quanto maior for o controlo da germinação do grão, menor a sua modificação. Na Tabela 3.11, confirma-se que os ensaios de 76°C e 80°C corresponderam aos de germinação mais controlada (79% e 78%), devido à menor frequência de adições de água ao longo da referida etapa. Como ambos os fabricos tiveram também associados o menor teor de humidade do malte verde no final da etapa de germinação (41,41% e 41,89%), demonstraram ter uma baixa taxa de modificação (92,88% e 91,25%, respetivamente). O malte verde do ensaio a 78°C deu origem a uma germinação mais longa (122h), sendo o que sofreu maior grau de modificação (94,25%). Na Figura 3.6 observam-se esses desvios.

Seguindo o mesmo raciocínio do parâmetro da friabilidade, não se prevê uma alteração significativa das temperaturas de saída dos quatro ensaios com a modificação do grão (Figura 3.6).

O fabrico a 82 °C está abaixo do limite mínimo específico, com uma modificação de 84%, estando os restantes acima do limite (LIE≥85%).

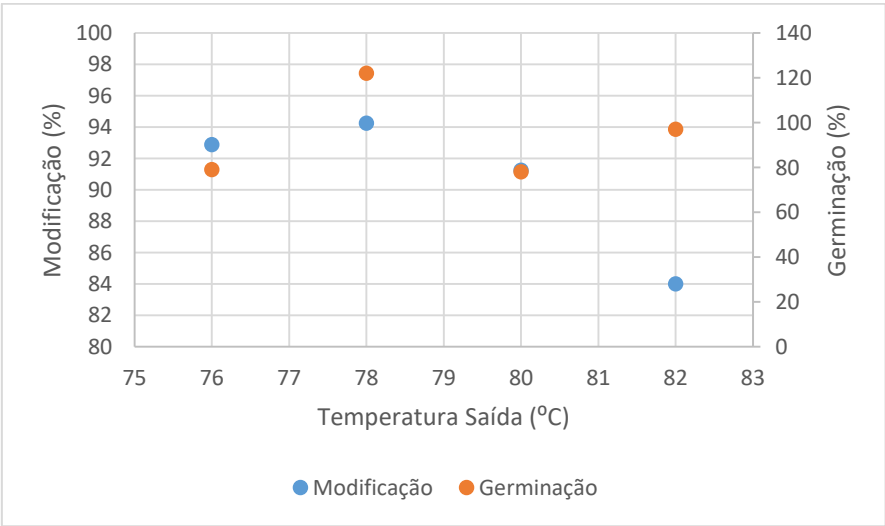


Figura 3.6 - Gráfico que apresenta a relação da temperatura de saída dos quatro ensaios com a modificação do malte final e a percentagem de germinação do grão.

➤ **β-glucanos**

Tabela 3.12 – Análise relativa aos β-glucanos e a sua relação com a germinação, teor de humidade do malte verde, tempo na fase de germinação e tempo da fase *pré-break*

Temperatura Saída (°C)	Germinação (%)	Humidade malte verde (%)	Tempo fase germinação (h)	Tempo fase <i>pré-break</i> (h)	β-glucanos (mg/L)
76	79	41,41	111	7	139
78	122	45,89	122	6	66
80	78	41,89	120	8,20	83
82	97	42,29	121	6,20	144

Relativamente à degradação dos β-glucanos que compõem as paredes celulares do endosperma, será de esperar que uma germinação mais longa permita mais tempo para que haja maior hidrólise dos β-glucanos. Há duas enzimas que hidrolisam os β-glucanos em moléculas mais pequenas, incluindo a glucose. A β-glucano solubilase converte a matriz insolúvel em β-glucanos solúveis. Estes são posteriormente hidrolisados pela enzima endo-β-glucanase, que é muito sensível à adição de ácido giberélico [15]. À variação de temperatura não será de se prever algum impacto.

Confere-se, com base nos resultados da Tabela 3.12, que o ensaio de 76°C é o que apresenta um maior teor de β-glucanos no mosto (139 mg/L) e ensaio de 78°C um teor mais baixo (66 mg/L), sendo provavelmente pelo facto do tempo de germinação do ensaio de 76°C ter sido o mais curto (111h) e o do ensaio de 78°C o mais longo (122h).

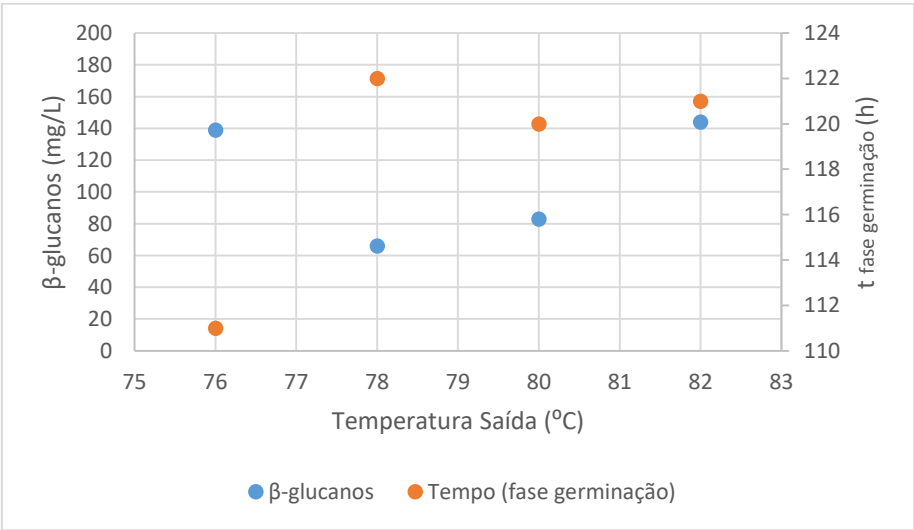


Figura 3.7 - Gráfico que apresenta a relação da temperatura de saída dos quatro ensaios com o teor de β -glucanos e tempo da fase de germinação.

O elevado teor de β -glucanos no ensaio a 82°C (144 mg/L), demonstrado na Figura 3.7, poderá estar relacionado com o facto deste ensaio ter sofrido uma menor modificação e o grão apresentar menor friabilidade. Os valores da Figura 3.7 não se devem ao tempo da fase da temperatura de “cura”, mas antes a diferenças ocorridas durante a etapa de germinação e fase de *pré-break*. Os quatro ensaios cumprem o limite superior específico, ($LSE \leq 200$ mg/L).

B. Análises referentes à degradação proteolítica

➤ Azoto aminado livre (FAN)

Tabela 3.13 - Análises relativas ao teor de FAN e a sua relação com a germinação, tempo na fase de germinação e teor de humidade do malte verde

Temperatura Saída (°C)	Germinação (%)	Tempo fase germinação (h)	Humidade malte verde (%)	FAN (mg/100g)
76	79	111	41,41	161
78	122	122	45,89	206
80	78	120	41,89	157
82	97	121	42,29	178

O FAN é uma medida da extensão da hidrólise das proteínas da cevada em péptidos e aminoácidos durante a maltagem. O nível de FAN no mosto é influenciado pela percentagem de germinação, isto é, quanto maior a percentagem de germinação, maior é o valor de FAN.

Verifica-se através da análise da Tabela 3.13 que os ensaios realizados estão de acordo com o esperado, isto é, os valores de FAN nos ensaios 76°C e 80°C (161 mg/100g e 157 mg/100g) são menores, sendo que a percentagem de germinação foi também menor.

Não se previam impactos dos valores FAN em cada ensaio com a temperatura. No entanto, conferiu-se através da observação da Figura 3.8 um desvio do ensaio 78°C relativamente ao ensaio 82°C (referência), onde se percebeu claramente que o elevado valor de FAN foi derivado do excesso de germinação desse fabrico.

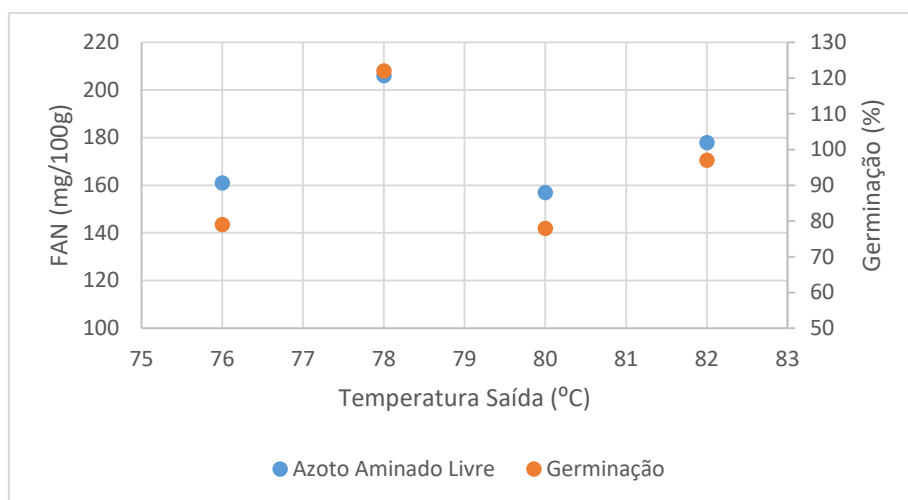


Figura 3.8 - Gráfico que apresenta a relação da temperatura de saída dos quatro ensaios com o nível de FAN no mosto e percentagem de germinação.

C. Análises que dizem respeito à degradação amilolítica

➤ α -amilase e β -amilase

Tabela 3.14 - Análises relativas às enzimas α - e β -amilase e a sua relação com o tempo na fase de estufagem e o tempo na fase de “cura”

Temperatura Saída (°C)	Tempo fase estufagem (h)	Tempo fase “cura” (h)	α -amilase (UC/g)	β -amilase (UC/g)
76	16,15	1,27	261,33	17,35
78	14,00	1,15	246,51	16,35
80	18,30	2,10	207,59	12,78
82	16,30	2,17	197,57	13,45

Seria previsto as enzimas α - e β -amilase perderem a sua atividade quando expostas a elevadas temperaturas. A α -amilase é relativamente estável durante a estufagem, mas a β -amilase é muito sensível à temperatura, conforme se observa na Tabela 3.14. Torna-se assim intuitiva a ideia de que a atividade destas enzimas seja superior nos ensaios em que a temperatura de “cura” (e consequente temperatura de saída da fase de “cura”) seja menor. Seria então de esperar que a atividade de ambas as enzimas fosse superior nos ensaios de 76°C e 78°C e inferior nos ensaios de 80°C e 82°C.

Verificou-se, com base na observação da Figura 3.9, que o uso de menores temperaturas de saída da fase de “cura” nos ensaios de 76°C e 78°C favoreceram o aumento da atividade da enzima α -amilase (261,33 UC/g e 246,51 UC/g). Nos ensaios de 80°C e 82°C a atividade da enzima foi inferior (207,59 UC/g e 197,57 UC/g), estando estes valores associados à temperatura de saída na fase de “cura” nestes

fabricos ter sido mais elevada, e resultando num aumento da duração desta fase (2,10h e 2,17h). Uma das formas de preservar as atividades das enzimas amilolíticas seria, portanto, diminuir o tempo da temperatura de “cura”.

Estes resultados correspondem ao que era previsto, pois a temperatura de inativação da enzima é aos 80°C, fazendo com que diminua a sua atividade quando são usadas temperaturas elevadas.

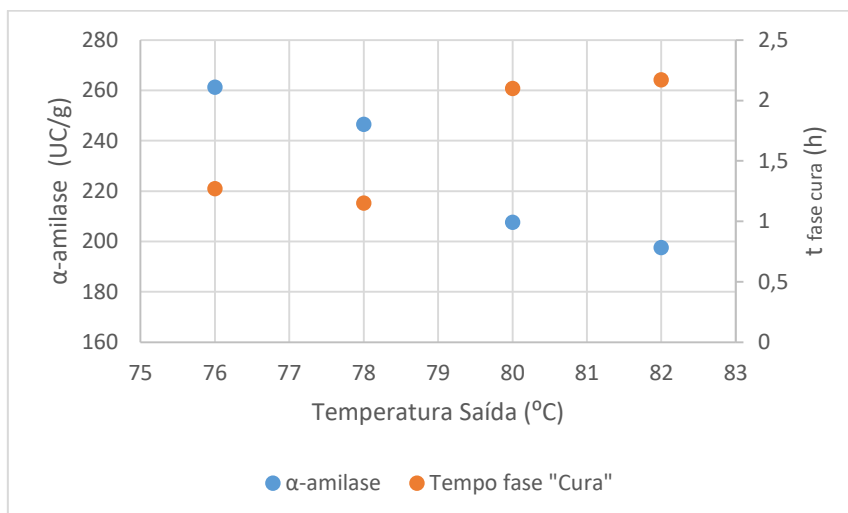


Figura 3.9 - Gráfico que apresenta a relação da temperatura de saída dos quatro ensaios com a atividade da α-amilase e o tempo da fase de “cura”.

No que diz respeito aos resultados obtidos para a atividade da β-amilase, percebe-se claramente através da observação do gráfico da Figura 3.10 que os valores da atividade de são significativamente mais baixos nos ensaios de 80 e 82°C (12,78 UC/g e 13,45 UC/g) em comparação com os outros dois fabricos, o que possivelmente está relacionado com a temperatura de saída na fase de “cura” nestes fabricos ter sido mais elevada, e consequente aumento da duração desta fase (2,10h e 2,17h), tendo assim contribuído para a perda de atividade desta enzima, que é muito termolábil. Para os ensaios de 76°C e 78°C, a maior atividade de β-amilase poderá ter estado relacionada com a menor temperatura de saída na fase de “cura” (76°C e 78°C) e consequente menor duração desta fase (1,27h e 1,15h), por exposição mais curta a temperaturas superiores à sua temperatura de inativação (temperatura de inativação da β-amilase é aos 70°C).

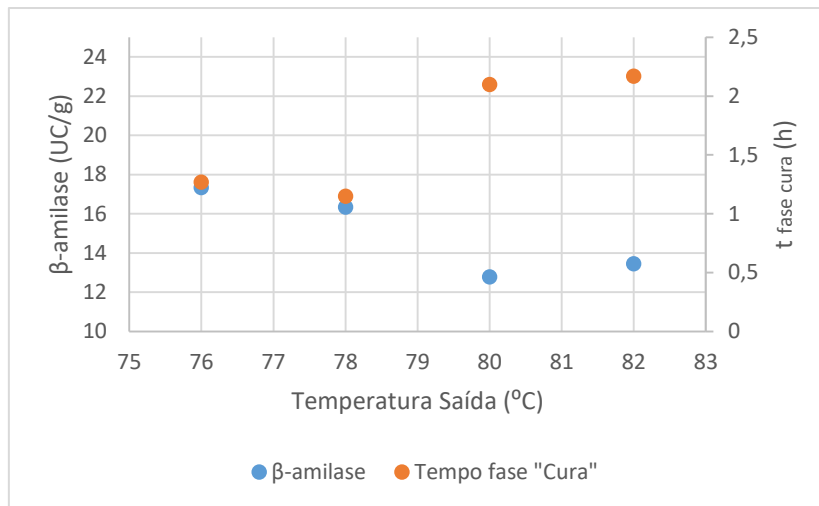


Figura 3.10 - Gráfico que apresenta a relação da temperatura de saída dos quatro ensaios com a atividade da β-amilase e o tempo da fase de "cura".

As atividades das enzimas α- e β-amilase cumprem os limites específicos (α-amilase: $LIE \geq 160 \text{ UC/g}$; β-amilase: $LIE \geq 13 \text{ UC/g}$), à exceção da atividade β-amilase no fabrico de temperatura de saída a 80°C, cujo valor está ligeiramente abaixo do limite inferior (12,78 UC/g).

➤ Extrato

Tabela 3.15 - Análises relativas ao extrato e a sua relação com a percentagem de germinação, o tempo da fase de

Temperatura Saída (°C)	Germinação (%)	Tempo fase germinação (h)	Humidade malte verde (%)	Extrato s.m.s. (%)
76	79	111	41,41	81,4
78	122	122	45,89	81,5
80	78	120	41,89	82,7
82	97	121	42,29	82,6

germinação e o teor de humidade do malte verde

O extrato corresponde ao teor de açúcares fermentescíveis no mosto. Prevê-se que uma germinação mais curta e com menor crescimento do grão dê origem a um

maior teor de extrato no malte final, ou seja, a uma maior quantidade de açúcares fermentescíveis. Uma germinação demasiado elevada pode fazer com que o grão comece a consumir as suas reservas, nomeadamente o amido, o que irá desencadear a uma redução do extrato final disponível.

Os ensaios de 76°C e 80°C foram os que se verificaram que a percentagem de germinação do grão era menor (Tabela 3.15). Contudo, o malte com maior teor de extrato foi o do ensaio de 80°C, pois ao ensaio de 76°C esteve associada uma elevada modificação (modificação de 92,88% no ensaio a 76°C e 91,25% no ensaio a 80°C). A justificação para o ensaio a 80°C ser o que possui um maior teor de extrato no malte final está relacionada com a germinação ser menor (78%) comparativamente aos restantes, tendo conseguido obter maior quantidade de açúcares fermentescíveis (82,7%). Já o ensaio a 78°C, com a maior percentagem de germinação e maior tempo nessa mesma fase, originou no malte final um baixo teor de extrato (81,5%). A hipótese é que, por ter tido um período de germinação demasiado longo (122h) e uma elevada percentagem de germinação (122%), o grão começou a consumir as suas reservas, o que poderá ter provocado a redução do extrato final.

A influência do teor de humidade do malte verde é também visível. Verifica-se, através da observação da Figura 3.11, que os ensaios a 80°C e a 82°C possuem um maior teor de humidade comparativamente ao ensaio a 76°C. Esse aumento de humidade do malte verde poderá estar associado a um aumento da atividade enzimática na fase *pré-break*, e consequente aumento dos valores de extrato nesses dois ensaios.

Confirma-se também um ligeiro aumento do extrato final do malte com o aumento do tempo na fase da “cura” na Figura 3.11, tendo esses valores do extrato cumprido o limite mínimo específico ($LIE \geq 81\%$) em todos os ensaios.

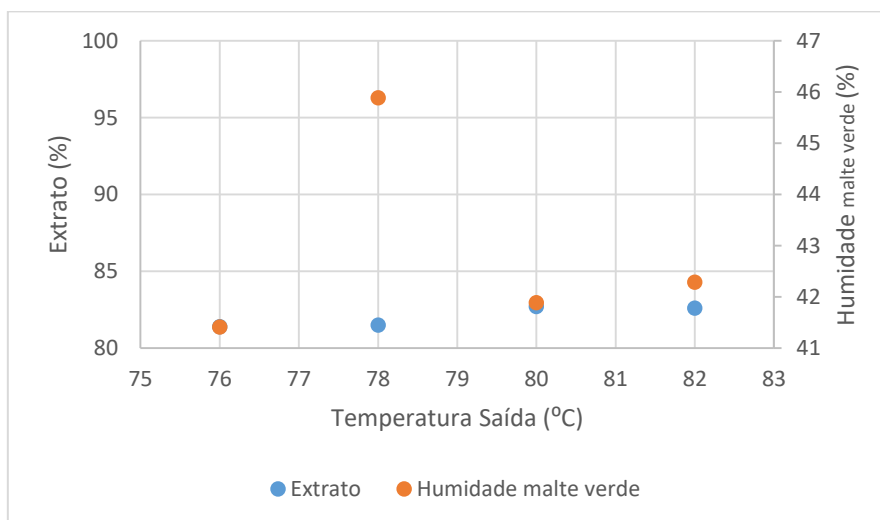


Figura 3.11 - Gráfico que apresenta a relação da temperatura de saída dos quatro ensaios com o teor de extrato e o teor de humidade do malte verde.

3.2 Desenvolvimento de programas de produção de maltes especiais

3.2.1 Ensaios de maltes especiais

Para a concretização dos ensaios de maltes especiais, foi usada cevada da variedade *Etinzel*, adquirida através da Maltibérica – Sociedade Produtora de Malte, S.A.. Este tipo de cevada também foi recebida em *big bags*, tendo cada um o peso entre 1100-1250 kg de cevada. Na Tabela 3.16 estão indicadas as características da cevada da variedade *Etinzel*, usada nos ensaios de maltes especiais.

Tabela 3.16 - Resultados das análises efetuadas na Maltibérica à cevada da variedade *Etinzel*. Dados fornecidos pela empresa

Variedade	Origem	Humidade (%)	Proteína (%)	Triagem (%)			
				>2,8 mm	>2,5 mm	>2,2 mm	<2,2 mm
<i>Etinzel</i>	França	12,3	10,6	71,6	21,5	5,3	1,6

3.2.2 Ensaios realizados

Nos ensaios de maltes especiais, as condições das etapas de molha e germinação dos ensaios do malte *Pilsen* foram mantidas praticamente as mesmas (programa no autómato semelhante), alterando-se por completo o programa de estufagem. Nos programas de maltes especiais é recomendado que o grão contenha uma maior percentagem de modificação antes de passar para a etapa de estufagem, para garantir que o grão adquira um maior grau de modificação e fique com mais cor. É de referir que nestes ensaios se parou a etapa de germinação mais tarde, isto é, em vez da percentagem do grão estar compreendida entre 75-85%, deixou-se atingir os 90-100%.

Tabela 3.17 – Valores referentes às temperaturas de entrada no início da estufagem e de “cura”, tempos de “cura” de entrada e de saída, temperaturas de saída da “cura”, percentagem de germinação e cor obtida para os três ensaios

Nº Ensaio	Temperatura Entrada início estufagem (°C)	Temperatura Entrada “cura” (°C)	Tempo “cura” (h) (entrada)	Temperatura Saída “cura” (°C)	Tempo “cura” (h) (saída)	Germinação (%)	Cor (EBC)
1	45	90		85	2	228	16,0
2	50	90	2			138	11,1
3	50	90	1			92	4,4

➤ Ensaio 1 – Munique tipo //

Pretendeu-se produzir nas instalações da Mini-malteria o malte especial Munique tipo //. Tratava-se de um tipo de malte já estudado no setor de Investigação e

Desenvolvimento da Unicer, mas que ainda não tinha sido testado. Assim, o objetivo principal do primeiro ensaio foi validar a receita já existente aplicada a uma nova variedade de cevada (*Etince*). O principal motivo de ter sido o primeiro malte especial a ser concretizado foi por ser produzido a temperaturas relativamente baixas e assim se perceber como se iriam adaptar os equipamentos da Mini-malteria à concretização do mesmo.

Inicialmente, previa-se antes da realização do ensaio que o malte final teria de apresentar uma cor ligeiramente superior à do malte *Pilsen*, entre 20-25 EBC. O patamar de “cura” para fabricar este tipo de malte era também superior à do malte base, estando próximo de 105°C. Tentou-se então reproduzir a receita de modo a obter as especificações finais pretendidas para o malte do tipo Munique tipo II.

Tal como referido, os programas das etapas de molha e germinação dos ensaios do malte *Pilsen* foram mantidos praticamente os mesmos, modificando-se o programa de estufagem. No diagrama de estufagem de malte *Pilsen*, o malte verde é submetido a uma temperatura do ar de entrada de 55°C (fase *pré-break*) e, na etapa final (fase de “cura”), a temperatura mantém-se a 85°C até a temperatura de saída atingir os 82°C e se manter aí durante uma hora; para a realização do ensaio de Munique tipo II, no início da estufagem, sujeitou-se o malte verde a uma temperatura do ar de entrada de 45°C e, na parte final da etapa, o sistema manteve-se em funcionamento a 90°C até a temperatura de saída atingir os 85°C e se manter aí durante duas horas (Tabela 3.17). Por questões de confidencialidade, as fases intermediárias não foram mencionadas.

No final, obteve-se uma cor de 16,0 EBC, estando mais baixa do que a pretendida (20-25 EBC). Possivelmente, teria sido necessário deixar estar mais uma hora no patamar de “cura”, para garantir que o malte final teria mais cor, assim como um maior controlo da percentagem de germinação do grão, que neste ensaio foi muito superior à pretendida (228%). Acabou por se obter Munique tipo I (15-20 EBC) (Figura 3.12), ao contrário do esperado.

Os resultados das análises adicionais efetuadas ao ensaio são apresentadas na Tabela 3.18.

➤ Ensaio 2 – *Pale Ale*

Neste segundo fabrico não se tinha nenhuma receita de base para ser reproduzida. Pretendeu-se então concretizar um ensaio cujo objetivo fosse produzir malte do tipo *Pale Ale*, tendo apenas como base fontes bibliográficas e pequenos dados, como a cor deste tipo de malte variar entre 7-10 EBC e o patamar de “cura” estar compreendido entre 90-95°C.

Na Tabela 3.17 observa-se que uma das alterações relativamente ao ensaio 1 se deu, por exemplo, no início da estufagem, em que se sujeitou o malte verde a uma temperatura do ar de entrada de 50°C. Outro fator que foi modificado incidiu no controlo do fabrico ser feito na temperatura de entrada e não na de saída, como nos ensaios anteriores. Assim, o sistema manteve-se em funcionamento a 90°C (temperatura para finalizar o aquecimento) durante 2 horas. Uma vez mais, as fases intermediárias não foram aqui referidas.

Atingiu-se uma cor entre Munique tipo I e *Pale Ale*, nomeadamente 11,1 EBC (Figura 3.12). Como o objetivo seria produzir *Pale Ale* (7-10 EBC), teria possivelmente de se ter diminuído ao tempo da “cura” (que foi de duas horas) e, deste modo, diminuir inevitavelmente a cor.

Os resultados das análises adicionais efetuadas ao ensaio são apresentadas na Tabela 3.18.

➤ **Ensaio 3 – *Pale Ale***

Tentou-se uma vez mais produzir malte do tipo *Pale Ale*. Mantiveram-se as mesmas condições do ensaio 2, tendo-se apenas alterado a temperatura de 90°C para finalizar o aquecimento, reduzindo-se para apenas uma hora. A cor obtida foi 4,4 EBC (Figura 3.12), estando bastante longe do pretendido. A justificação mais evidente poderá estar relacionada com a baixa germinação do grão no final da etapa de germinação (92%), que não modificou o pretendido e, consequentemente, originou uma cor menor.

Os resultados das análises adicionais efetuadas ao ensaio são apresentadas na Tabela 3.18.

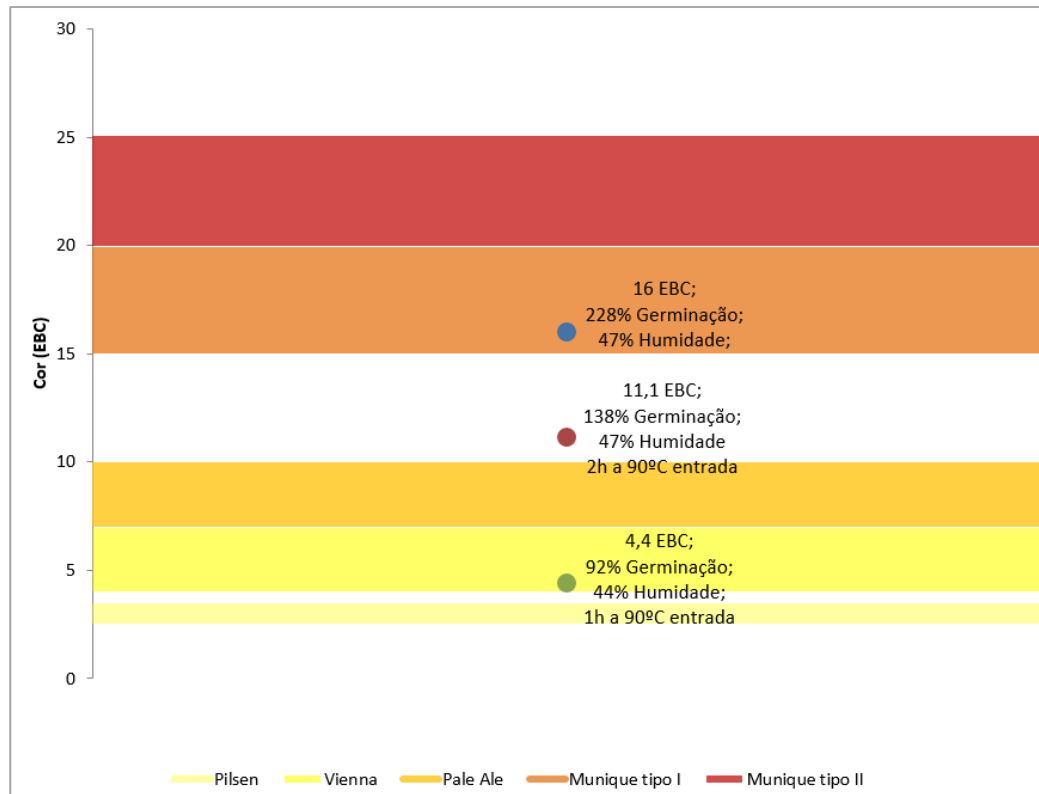


Figura 3.12 – Coloração obtida para os três ensaios de maltes especiais.

Tabela 3.18 – Valores da friabilidade, β -glucanos, rendimento s.m.s, cores do mosto e FAN, efetuadas aos três ensaios de maltes especiais

Nº Ensaio	Friabilidade (%)	β -glucanos (mg/L)	FAN (mg/100g)	Rendimento s.m.s. (%)	Cor Lovibond (EBC)	Cor (EBC)
1	87	89	205	80,8	14,0	16,0
2	94	94	202	74,4	9,0	11,1
3	91	113	151	81,9	4,0	4,4

4 Conclusões

Foram realizados cinco ensaios de malte *Pilsen* com cevada de variedade *Pewter* (cevada de primavera) para se efetuar o estudo dos consumos energéticos. Um dos ensaios não foi considerado por terem ocorrido problemas durante a sua execução, anulando qualquer resultado que pudesse desencadear algum tipo de conclusão. Assim, apenas foram considerados quatro ensaios. Relativamente aos ensaios de maltes especiais, concretizaram-se sete fabricos com cevada de variedade *Etincel* (cevada de inverno), dos quais quatro, que seriam para testar malte caramelo, demonstraram ser inconclusivos. De facto, para se produzir malte caramelo seria necessária uma melhoria associada aos equipamentos da instalação, isto é, conseguirem-se manter as temperaturas mais elevadas a que o programa era sujeito. Os restantes três ensaios de maltes do tipo *Munich I* e *Pale Ale*, apesar de próximos do que se pretendia atingir, apresentaram defeitos que poderão ser corrigidos.

Na realização de fabricos de malte do tipo *Pilsen*, a temperatura de entrada do patamar de “cura” é mantida a 85°C até que a temperatura de saída do tanque para o fim do aquecimento atinja os 82°C. No presente projeto, a estratégia adotada para a realização dos ensaios de malte *Pilsen*, consistiu na manutenção da temperatura de “cura” a 85°C e variação da temperatura de saída do tanque para o fim do aquecimento até um mínimo de 76°C. Assim, as temperaturas para finalizar o aquecimento sofreram variações (1º ensaio a 76°C, 2º a 78°C, 3º a 80°C e 4º a 82°C). O ensaio de 82°C funcionou como um ensaio de referência, por se usar essa temperatura no fabrico de malte *Pilsen*. Estas alterações permitiram estudar os consumos energéticos dos diferentes ensaios, assim como perceber se a diminuição ao tempo do patamar de “cura” afetaria ou não a qualidade do malte nos parâmetros essenciais. Previam-se, inicialmente, alterações nos parâmetros cor, humidade e p-DMS. Nas restantes análises, com a variação da temperatura de saída, não se previam impactos para os diferentes parâmetros da qualidade do malte.

Relativamente aos consumos de vapor, confirmaram-se poupanças (por kg de cevada maltada) significativas desse consumo dos ensaios de 76°C e 78°C para o ensaio de 82°C (23% do ensaio de 76°C para o de 82°C e 25% do ensaio de 78°C para o de 82°C). Verificou-se uma tendência crescente no consumo da ventoinha/ massa da cevada, sendo essa tendência mais alta no ensaio de 82°C. O aumento do consumo com o aumento da temperatura de saída era previsto. No que diz respeito aos consumos elétricos, não pareceram existir poupanças significativas no consumo de energia elétrica entre os ensaios de 76°C e 78°C (0,11 e 0,12 kWh/kg), no entanto, comparativamente com o gasto de eletricidade no ensaio de 82°C, a poupança (por kg

de cevada maltada) foi de cerca de 15% no ensaio de 76°C e aproximadamente 20% no ensaio de 78°C. Conclui-se, de facto, que a diminuição do tempo da temperatura de “cura” reflete-se numa diminuição efetiva dos consumos energéticos.

Antes da concretização dos ensaios, previam-se apenas alterações nos parâmetros da humidade, cor e p-DMS. Nas restantes análises, com a variação da temperatura, não se julgavam impactos para os diferentes parâmetros da qualidade do malte.

Os valores do teor de humidade final para os diferentes ensaios sofreram apenas pequenas variações, não se tendo verificado um grande impacto na qualidade final do malte (valores compreendidos entre 4,4% e 4,8%). O parâmetro da cor aumentou gradualmente com o aumento do tempo na temperatura de “cura”, apesar de terem sido observados desvios a essa tendência provocados por uma modificação em excesso (ensaio a 78°C) e em defeito (ensaio a 82°C). Se a percentagem de germinação não fosse tão elevada nesses dois fabricos face aos restantes, teriam menos açúcares e menos aminoácidos e observar-se-ia esse aumento de cor gradual. Os valores de pH cumpriram o limite específico.

Nas análises relacionadas com a degradação citolítica, os valores obtidos para a friabilidade não sofreram um grande impacto com o aumento do tempo da temperatura de “cura” (valores entre 90-94%). No parâmetro da modificação do malte final, confirmou-se que os ensaios com menor teor de humidade do malte verde demonstraram ter uma baixa modificação, tal como o ensaio com uma germinação mais longa (o ensaio a 78°C) sofreu maior grau de modificação (94,25%). A modificação também não variou de forma significativa com a temperatura. No que diz respeito ao teor de β -glucanos, conferiu-se que um maior teor do mesmo no mosto corresponderia a um menor tempo de germinação, assim como uma menor modificação e consequente menor friabilidade do grão. Assim, os valores obtidos não estiveram relacionados com o tempo da temperatura na “cura”, mas antes a diferenças ocorridas durante a etapa de germinação e consequentemente, na primeira fase da estufagem (fase *pré-break*).

Para as análises relativas à degradação proteolítica, os maiores valores de FAN obtidos foram influenciados pela elevada percentagem de germinação do grão. Também nesta análise não se previam impactos dos valores FAN com a temperatura de saída, sendo o desvio verificado do ensaio a 78°C (206 mg/100g) relativamente ao ensaio a 82°C (178 mg/100g), derivado do excesso de germinação do ensaio a 78°C (122%).

Por último, as análises que diziam respeito à degradação amilolítica foram surpreendentes, no sentido das enzimas α - e β -amilase terem o comportamento

previsto, de ambas perderem atividade quando expostas a maior tempo na temperatura de “cura”. Verificou-se, portanto, que a atividade das enzimas amilolíticas diminuiu com esse aumento de temperatura de saída. A um maior teor de extrato esteve associada uma maior modificação do grão, tendo-se verificado um ligeiro aumento do extrato final do malte com o aumento do tempo na fase da “cura”. O ensaio a 78°C originou no malte final um menor teor de extrato (81,5%); uma hipótese apontada para esse valor é que, por ter tido um período de germinação mais longo (122h), o grão começou a consumir as suas reservas, o que poderá ter provocado uma redução do extrato final disponível.

Em conclusão, percebeu-se que o aumento do tempo de “cura” não afetou diretamente a qualidade do malte nos parâmetros essenciais, à exceção da cor e da humidade, como seria de esperar. De facto, as variações verificadas nesses parâmetros devidas a diferentes tempos de “cura” estiveram muito mais relacionados com a massa da cevada inicial, o teor de humidade do malte verde, a percentagem de germinação e o crescimento do grão do que propriamente com esse aumento do tempo da fase de estufagem.

No que diz respeito aos maltes especiais, dos três ensaios realizados, percebeu-se também que o controlo pouco eficaz do crescimento do grão na fase de germinação e consequente fase pré-break no início da estufagem afetou as características finais do malte.

5 Perspetivas futuras

Relativamente ao objetivo do estágio, incidido nas poupanças energéticas, concluiu-se que não deu para assumir uma tendência do aumento da temperatura de saída com a relação energia elétrica/ massa da cevada. Seria importante encontrar-se uma nova alternativa para se estudarem os gastos elétricos da mini-malteria. Apesar das poupanças verificadas nos consumos de vapor, as condições e a massa de cevada inicial não foram mantidas iguais entre os fabricos, sendo necessário serem feitos novos ensaios com um maior controlo desses fatores.

Para a realização de novos ensaios, independentemente do objetivo que se pretenda atingir, será indicado manter a quantidade de massa de cevada inicial igual entre os ensaios, assim como um controlo do crescimento do grão. A mesma quantidade de cevada iria garantir que as conclusões a serem retiradas dos ensaios estariam corretas. É evidente que a percentagem de germinação nos diferentes ensaios nunca irá ser a mesma, mas deve procurar-se garantir uma aproximação entre esses resultados para facilitar a comparação dos mesmos e tirar conclusões fiáveis. Nos maltes especiais a ideia é a mesma, mas garantindo que a germinação do grão se mantenha próxima dos 100% para a justificação de uma cor mais forte ou mais suave não estar relacionada com um controlo incorreto desse parâmetro.

Também relativo aos maltes especiais, poderia voltar a testar-se o malte *Pale Ale* com a temperatura de “cura” a 90°C durante uma hora mas, desta vez, com a percentagem de germinação pretendida. Apesar das instalações não terem capacidade de atingir temperaturas muito elevadas, é possível dar continuidade a este tipo de testes de maltes especiais de cores mais claras, como o *Pale Ale*, *Munich tipo I* e *tipo II* ou ainda um outro tipo de malte que não ultrapassasse a temperatura de “cura” de 100°C.

Numa outra perspetiva, a alteração da quantidade de cevada utilizada por fabrico seria também interessante, para se perceber o que variava no processo e se conseguiriam tirar novas conclusões.

Há, no entanto, oportunidades de melhoria que poderiam ser implementadas diretamente na Mini-malteria. No tanque de germinação/ estufagem, procurar-se a instalação de um sistema de controlo da humidade do grão ao longo dos cinco dias da germinação, para ser evitada a recolha de uma amostra diária e ser medido o teor de humidade na termobalança. A introdução de contadores energéticos seria também essencial, de maneira a ter-se o controlo rigoroso dos consumos por fabrico, e não por cálculos e estimativas, como foi realizado no presente projeto.

Bibliografia

- [1] Kunze, W. (2004). *Tecnology Brewing and Malting*. 3ª edição, VLB. Berlim.
- [2] Rodrigues, M.A. e Martins, V.M.R. (2015). Produção e Tecnologia de cereais: notas breves sobre o cultivo de cevada em Portugal. *Atas das jornadas de Lúpulo e Cerveja*. Centro de Investigação de Montanha, Bragança. pp. 23-35.
- [3] Ferreira, I.M.P.L.V.O. (2009). Beer Carbohydrates. Em: Preedy V.R., *Beer in Health and Disease Prevention*. Londres.
- [4] Maltiberica (2009). *Manual de boas práticas agrícolas*. Acedido em Dezembro de 2015, em: http://agrogestao.com/ficheiros/Maltiberica_Manual_Boas_Praticas_Agricolas_web.pdf.
- [5] Steiner, E., Auer, A., Becker, T. e Gastl, M. (2011). Comparasion of beer quality attributes between beers brewed with 100% barley alt and 100% barley raw material. *J Sci Food Agric*. **92**: 803-813.
- [6] Wunderlich, S., Back, W. (2009). Overview of Manufacturing Beer: Ingredients, Processes, and Quality Criteria. Em: Preedy V.R., *Beer in Health and Disease Prevention*. Londres.
- [7] Matos, J.M.S. (2014). *Caracterização bioquímica e físico-química do grão de cevada ao longo do processo de maltagem*. Tese de Mestrado em Bioquímica. Faculdade de Ciências – Universidade do Porto, Porto. 168 pp.
- [8] Martins, V.M.R. e Rodrigues M.A. (2015). Produção e Tecnologia de cereais: processo de maltagem da cevada. *Atas das jornadas de Lúpulo e Cerveja*. Centro de Investigação de Montanha, Bragança. pp. 37-51.
- [9] Barth, R. (2013). *The Chemistry of Beer: The Science in the Suds*. Wiley. Hoboken.
- [10] Priest, F.G. e Stewart, F.G. (2006). *Handbook of Brewing*. 2ª edição, Taylor & Francis. Boca Raton.
- [11] Mourinho, M.R.P.P. (2013). *Desenvolvimento de uma bebida por infusão à base de cevada (*Hordeum vulgare* L.)*. Tese de Mestrado em Tecnologia e Segurança Alimentar. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa. 93 pp.
- [12] Pinterest. pt.pinterest.com/pin/213780313536238699/. Acedido em Junho de 2016.
- [13] Pinto, A.R.M. (2013). *Avaliação do processo de secagem no fabrico de malte – Caso de estudo da Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, SA*. Tese de Mestrado em Engenharia Alimentar – Processamento de Alimentos. Instituto Superior de Agronomia, Lisboa. 63 pp.
- [14] Briggs, D.E., Boulton, C.A., Brookes, P.A. e Stevens, R. (2004). *Brewing – Science and practice*. CRC Press. Boca Raton.

- [15] Brissart, R., Brauninger, U., Haydon, S., Morand, R., Palmer, G., Sauvage, R., Seward, B. (2000). *Malting Technology: Manual of Good Practice*. EBC Technology and Engineering Forum. Nurembergue. 224 pp.
- [16] Scientific Psychic. <http://www.scientificpsychic.com/fitness/carbohydrates2.html>. Acedido em Maio de 2016.
- [17] Galvão, M.P. (1997). A Química da Cerveja. *Jornal de Química*, **65**: 6-12.
- [18] Silva, F., Ferreira, I.M.P.L.V.O., Teixeira, N. (2006). Polipeptídeos e proteínas com influência na qualidade da espuma da cerveja e métodos analíticos utilizados no seu estudo. *Quim. Nova*, **6**: 1326-1331,
- [19] Novozymes. (2013). *Brewing Handbook*. Bagsvaerd.
- [20] Buiatti, S. (2009). Beer Composition: An Overview. Em: Preedy V.R., *Beer in Health and Disease Prevention*. Londres.
- [21] Dabina-Bicka, I., Karklina, D., Kruma, Z. (2011). Antiradical activity of diferent barley varieties and malt types. *Formation of the Research Group in Food Science*. Latvia University of Agriculture. pp. 87-92.
- [22] Bamforth, C. (2003). *Beer: Tap into the art and science of brewing*, 2ª edição, Oxford University Press. Nova Iorque.
- [23] Eblinger, H.M. (2009). *Handbook of Brewing – Processes, Technology, Markets*. Wiley-VCH. Weinheim.
- [24] Guido, L.F. e Moreira, M.M. (2013). “Malting”. Em: *Engineering Aspects of Cereal and Cereal-Based Products*. CRC Press. Boca Raton. pp. 51-70.
- [25] Briess Malt & Ingredients.
http://blog.brewingwithbriess.com/part_ii_the_bries_malthouses/. Acedido em Abril de 2016.
- [26] Brew Conductor. <http://brewconductor.com/brewing/ingredients/the-malting-process/>. Acedido em Junho de 2016.
- [27] La relación en las plantas. <http://es.slideshare.net/enalto/relacin-en-las-plantas-eat>. Acedido em Julho de 2016.
- [28] Willaert, R. (2007). The Beer Brewing Process: Wort Production and Beer Fermentation. Em: *Handbook of Food Products Manufacturing*. Wiley, Califórnia.
- [29] O'Rourke, T. (2002). The function of enzymes in brewing. *The BREWER International*, Volume 2: 14-18.
- [30] Kumar, D., Kumar, V., Verma, R.P.S., Kharub, A.S. e Sharma, I. (2013). Quality parameter requirement and standards for malt barley – A review. *Agri. Reviews*, **34**: 313-317.
- [31] Biering, J. (2016). *Barley & Malt: Analysis in Theory*. VLB. Berlim.
- [32] Agraria Malt. http://www.agraria.com.br/malte_produtos.php. Acedido em Janeiro de 2016.

[33] Castle Malting.

<http://www.castlemalting.com/CastleMaltingMalts.asp?P=105&Language=English>.








Acedido em Janeiro de 2016.

[34] Guido, L.F., Boivin, P., Benismail, N., Gonçalves, C.R., Barros, A.A. (2005). An early development of the nonenal potential in the malting process. *Eur Food Res Technol*, **220**: 200-206.

ANEXOS

- POS: Descarga de matéria-prima para o silo de alimentação da molha
- POS: Amostragem do tanque de germinação
- POS: Limpeza do tanque de germinação/torra
- POS: Enchimento de *big bags*
- POS: Posto de ensacagem

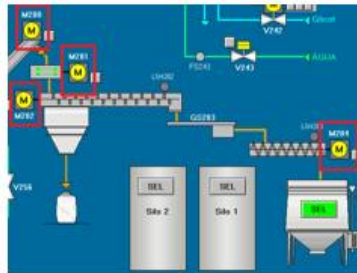
Procedimento Operacional Standard			Centro de Produção: Não aplicável		Unicer	
Departamento: Qualidade		Área: Inovação e Desenvolvimento	Categoria: Máq./Oper.	Equipamento: Não aplicável		
Tema: Descarga de matéria-prima para o silo de alimentação da molha				Pág. 1 de 1:	Data emissão: 15.06.2016	
<p>1 - Colocar o big bag na zona assinalada no chão.</p> 				<p>4 - Colocar devidamente as abas do big bag no gancho do comando elétrico.</p>  		
<p>2 - Ligar o sistema de aspiração. Nota: No separador "IPM - Molha", no automático, premir "ON" em M100.</p> 				<p>5 - Elevar o big bag acima do silo.</p> <p>6 - Desapertar os nós internos e externos do big bag e permitir que todo o conteúdo do big bag caia dentro do silo.</p>  		
<p>3 - Abrir a tampa do silo.</p> 				<p>7 - Fechar a tampa do silo no fim do processo.</p> <p>8 - Desligar a ventilação, no automático. Nota: No separador "IPM - Molha", no automático, premir "OFF" em M100.</p>		
Documentos relacionados:						
Nº documento	Formação sobre o POS	Data:				
POSXXXXXX.XX		por:				
		para:				

Procedimento Operacional Standard			Centro de Produção: 	
Departamento: Qualidade	Área: Inovação e Desenvolvimento	Categoria: Máq./Oper.	Equipamento: xxx	
Tema: Amostragem do tanque de germinação/ torra			Pág. 1 de 1:	Data emissão: 15.06.2016
<p>1 – Material necessário:</p> <p>a) Amostrador</p> <p>b) Balde de plástico (preferencialmente)</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>a)</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>b)</p>  </div> </div>				
<p>2 – Procedimento:</p> <p>a) Abrir a válvula de amostragem.</p> <p>b) Inserir o amostrador até que o mesmo toque no fundo do tanque.</p> <p>c) Abrir o amostrador lá dentro de forma a que a matéria-prima entre no seu interior e fechá-lo.</p> <p>d) Retirar o amostrador do tanque e rejeitar o seu conteúdo para um balde.</p> <p>e) Fechar a válvula de amostragem.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>a)</p>  <p>Aberto</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>e)</p>  <p>Fechado</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>b)</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Amostrador</p> </div> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;"> <p>c) d)</p>  </div>				
Documentos relacionados:				
Nº documento	Formação sobre o POS	Data:		
POSXXXXXX.XX		por:		
		para:		

Procedimento Operacional Standard			Centro de Produção: 	
Departamento: Qualidade	Área: Inovação e Desenvolvimento	Categoria: Máq./Oper.	Equipamento: xxx	
Tema: Limpeza do tanque de germinação/ torra			Pág. 1 de 1:	Data emissão: xx.02.2016
<p>1. Material necessário:</p> <p>a) Escada b) Vassoura</p>				
<p>2. Condições de trabalho:</p> <ul style="list-style-type: none"> Informar um colaborador da Mini-Fábrica que se vai entrar no tanque de germinação/torra. Antes do operador entrar no taque, confirmar, no autómato, que V210, V221, V212 e V213 estão fechadas. 				
<p>Procedimento:</p> <p>a) Desligar os motores ligados à rotação, M220, M221 e M22 no disjuntor, colocando-os na posição OFF.</p> <p>b) Entrar no tanque através da sua abertura superior, colocando uma escada dentro do mesmo.</p> <p>c) Com uma vassoura, varrer os restos de matéria-prima para o centro de cada divisão do chão.</p> <p>d) Retirar a escada e a vassoura do tanque e fechá-lo.</p>				
				
				
				
				
Documentos relacionados:				
Nº documento	Formação sobre o POS	Data:		
POSXXXXXX.XX		por:		
		para:		

Procedimento Operacional Standard			Centro de Produção: 
Departamento: Qualidade	Área: Inovação e Desenvolvimento	Categoria: Máq./Oper.	Equipamento: xxx
Tema: Enchimento de big bags			Pág. 1 de 1: Data emissão: 15.06.2016

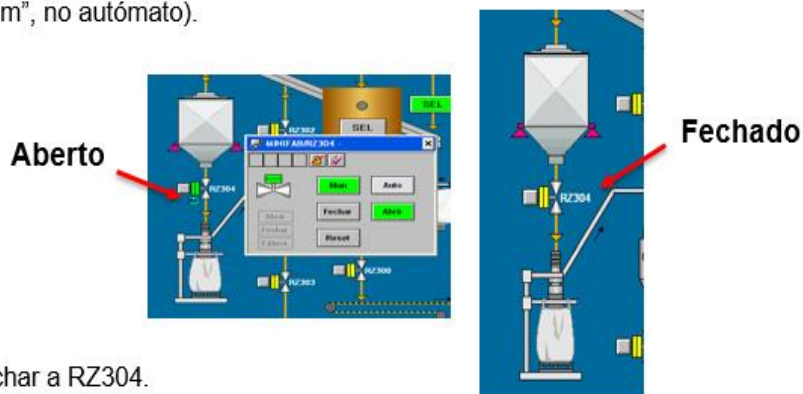
Nota: No automático, no separador “IPM- Germinação”, antes de iniciar a descarga, é necessário ligar manualmente os motores M280, M281, M282 e M284.



1 - Encher o silo com 400kg (visíveis na célula de carga) de matéria-prima.



2 - Rejeitar os 400kg para o big bag através da abertura da RZ304 (separador “MF – Moagem”, no automático).



- Fechar a RZ304.
- Colocar os motores M280, M281, M282 e M284 em automático (“Aut”).
- Repetir o processo até ser feita a descarga total da matéria-prima.

Documentos relacionados:													
Nº documento	Formação sobre o POS	Data:											
POSXXXXXXX.XX		por:											
		para:											

[illegible]